

Rec'd PCT/PTO 18 MAR 2005

10/528333



REC'D 09 FEB 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 43 700.9
Anmeldetag: 20. September 2002
Anmelder/Inhaber: Oelmühle Leer Connemann GmbH & Co,
Leer/DE
Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur
Herstellung von Biodiesel
IPC: C 07 C, C 11 C, C 10 L

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 02. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Ebert

Gleiss & Große

Patentanwälte · Rechtsanwälte
European Patent Attorneys
European Trademark Attorneys

Intellectual Property Law
Technology Law

D-70469 Stuttgart
Heilbronner Straße 293
Telefon: +49 (0)711 99 3 11-0
Telefax: +49 (0)711 99 3 11-200
E-Mail: office@gleiss-grosse.com
Homepage: www.gleiss-grosse.com

In cooperation with
Shanghai Zhi Xin Patent Agency Ltd.
Shanghai · China

Dr. Jur. Alf-Olav Gleiss · Dipl.-Ing. · PA
Rainer Große · Dipl.-Ing. · PA
Dr. Andreas Schrell · Dipl.-Biol. · PA
Torsten Armin Krüger · RA
Nils Heide · RA
Armin Eugen Stockinger · RA
Georg Brisch · Dipl.-Ing. · PA
Erik Graf v. Baudissin · RA

PA: Patentanwalt · European Patent Attorney
European Trademark Attorney
RA: Rechtsanwalt · Attorney-at-law

Patentanmeldung

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel

**Oelmühle Leer Connemann GmbH & Co.
Sägemühlenstraße 45**

26789 LEER

5 **Beschreibung**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Biodiesel aus biogenen fett- oder öl-haltigen Ausgangsgemischen mit einem hohen Anteil freier Fettsäuren sowie eine Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel.

Seit geraumer Zeit besteht wachsendes Interesse, auf Erdöl-Basis hergestellte Kraftstoffe durch preiswerte und umweltschonende Alternativen zu ersetzen. Ein ständig wachsender Pkw- und Lkw-Bestand, gekoppelt mit abnehmenden Erdölvorkommen und daraus resultierenden höheren Herstellungskosten, gaben den Anstoß, nach alternativen Kraftstoffen zu suchen. Eine der möglichen Alternativen stellen Pflanzenöle dar, wobei in Mitteleuropa überwiegend Rapsöl als Ausgangsprodukt in Betracht kommt.

Pflanzenöle müssen vor der Verwendung als Kraftstoff für Dieselmotoren durch aufwändige Verfahrensschritte gereinigt werden. Durch Zusatz von Phosphorsäure oder Zitronensäure werden Lecithine, Kohlenhydrate und Proteine aus den Ölen entfernt. Danach wird das so behandelte Öl zur Entfernung des sogenannten Ölschlammes zentrifugiert. Zur Entfernung der freien Fettsäuren aus Rapsöl erfolgt eine Extraktion mit Natronlauge.

Pflanzenöle weichen von den technischen Eigenschaften von Dieselkraftstoffen in mehreren Punkten ab. So weisen sie eine höhere Dichte als Dieselkraftstoff auf. Die Cetanzahl (Zündwilligkeit) von Rapsöl ist geringer als die von Dieselkraftstoff. Da-
 5 durch kann es zu einem ungleichmäßigen Laufverhalten des Motors kommen, wobei sich die Geräuschemission deutlich erhöht. Ferner ist die Viskosität von Rapsöl gegenüber der von Dieselkraftstoff um ein
 10 Vielfaches höher. Die höhere Viskosität des Rapsöls führt zu einer schlechteren Zerstäubung und Verbrennung im Brennraum. Die Verwendung von reinen Pflanzenölen führt daher in herkömmlichen Motoren zu Verkokungen, verbunden mit erhöhter Partikel-
 15 emission.

Einige der Probleme, die bei der Verwendung von reinen Pflanzenölen in nicht entsprechend angepassten Motoren entstehen, lassen sich durch Umwandlung der in Ölen und Fetten enthaltenen Triglyceride
 20 beziehungsweise Fettsäureester des Glycerins in Fettsäurealkylester, insbesondere Methyl- oder Ethylester, lösen. So können diese auch als Biodiesel bezeichneten Ester relativ problemlos in nicht-
 25 modifizierten Dieselmotoren eingesetzt werden, wobei der Ausstoß von unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Rußpartikeln im Vergleich zu normalem Dieselkraftstoff wesentlich reduziert werden kann.

Auf der Basis von Pflanzenölen hergestellter Biodiesel ist jedoch aufgrund der Rohstoffpreise und
 30 der erforderlichen Raffinationsverfahren relativ teuer und kann preislich mit normalem Dieselkraftstoff nicht konkurrieren. Dies schränkt die Verwen-

- dung dieses Biodiesels als Kraftstoff in herkömmlichen Diesel-Motoren erheblich ein. Damit Biodiesel auf lange Sicht gegenüber normalem Diesel-Kraftstoff als konkurrenzfähiger Kraftstoff bestehen kann, ist es zwingend erforderlich, seine Herstellungskosten erheblich zu senken. Eine Möglichkeit zur Senkung der Herstellungskosten für Biodiesel besteht in der Verwendung von Ausgangsstoffen, die erheblich billiger als Rapsöl sind.
- 10 Zu diesen alternativen Rohstoffen gehören beispielsweise in Restaurants anfallende gebrauchte Öle und tierische Fettschmalze. Für die USA wird beispielsweise geschätzt, dass jährlich etwa 1,1 Mio. t davon anfallen (Haumann, Inform, 1(8)
- 15 (1990), 722-725). Problematisch bei der Aufarbeitung solcher gebrauchten Öle und Fette ist jedoch, dass diese große Mengen freier Fettsäuren enthalten, die bei Veresterung unter Verwendung basischer Katalysatoren Seifen bilden. Diese Seifen können
- 20 die Abtrennung des Biodiesels von dem bei der basischen Umesterung als Nebenprodukt entstehenden Glycerin in erheblichem Maße beeinträchtigen. Daher wurde die Verwendung saurer Katalysatoren vorgeschlagen, die nicht zur Seifen-Bildung führen (Aksoy et al., JAOCS, 65 (1988), 936-938). Untersuchungen von Canakci und Van Gerpen (Transactions of ASAE, 42(5) (1999), 1203-1210) haben gezeigt, dass saure Katalysatoren freie Fettsäuren in deren Ester überführen können, zur Überführung von Triglyceriden in Biodiesel jedoch kaum geeignet sind.
- 25
- 30

Für die Herstellung von Biodiesel aus gebrauchten Öl- und fetthaltigen Ausgangsmaterialien wurden

mehrere Verfahren entwickelt. Haas et al. beschreiben ein Verfahren zur Herstellung von Biodiesel aus Soapstock (Seifenstock), wobei zunächst alle Fettsäureester-Bindungen im Ausgangsmaterial durch Verseifung hydrolysiert werden. Nach Entfernung von Wasser werden dann die resultierenden freien Fettsäuren sauer verestert (Haas et al., Energy & Fuels, 15 (2001), 1207-1212). Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass im Verhältnis zum Fettsäuregemisch relativ große Mengen an Methanol und Schwefelsäure angewandt werden müssen (Verhältnis Fettsäuregemisch zu Methanol zu Schwefelsäure molar etwa 1:30:5 oder gewichtsmäßig etwa 1:4:2), was nicht mehr als wirtschaftlich angesehen werden kann. Bei einem alternativen Verfahren werden zunächst die freien Fettsäuren des Ausgangsmaterials mittels saurer Veresterung in die Ester überführt und danach die Fettsäuretriglyceride einer basischen Umesterung unterworfen werden (Canakci und Van Gerpen, 1999). Das Verfahren ist so ausgelegt, dass bezogen auf einen Feedstock mit der Säurezahl 66 gewichtsmäßig 10% Schwefelsäure und etwa 400% Methanol (Methanol zu Fettsäuregemisch im Molverhältnis 40:1) eingesetzt werden, um damit eine Veresterung auf eine Säurezahl von 2,0 zu erreichen. Die Ausbeuten variieren dabei zwischen 75% und 80%. Ein erheblicher Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass das bei der Veresterung der freien Fettsäuren mit Alkohol entstehende Wasser die nachfolgende basische Umesterung stark beeinträchtigen beziehungsweise sogar vollständig verhindern kann.

Insgesamt zeigt sich, dass aus gebrauchten Fetten und Ölen hergestellter Biodiesel häufig nicht den Anforderungen entspricht, die an Kraftstoffe gestellt werden. So ist beispielsweise der Gehalt an
 5 freiem und gebundenem Glycerin bei einigen der im Stand der Technik auf der Basis gebrauchter Öle und Fette hergestellten Biodiesel viel zu hoch. Auch stellte sich heraus, dass die Zusammensetzung des hergestellten Biodiesels in Abhängigkeit vom Aus-
 10 gangsmaterial starken Schwankungen unterworfen ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, kostengünstige Verfahren und Mittel zur Herstellung von Biodiesel auf der Basis unterschiedlichster biogener öl- und fetthaltiger
 15 Ausgangsmaterialien, insbesondere gebrauchter Öle und Fette, bereitzustellen, die eine effizientere Überführung der Ausgangsmaterialien in Biodiesel erlauben und die Herstellung eines normgerechten Biodiesels ermöglichen, der ohne weitere Aufarbei-
 20 tungsschritte direkt als Kraftstoff verwendbar ist.

Die vorliegende Erfindung löst das ihr zugrunde liegende Problem durch die Bereitstellung eines drucklosen Verfahrens zur kontinuierlichen Herstel-
 25 lung von Alkylestern höherer Fettsäuren, insbesondere Biodiesel, aus freie Fettsäuren enthaltenden Fettsäuretriglycerid-Ausgangsgemischen mit integrierter Kombination von saurer Veresterung und basischer Umesterung umfassend

a) ein- oder mehrmaliges Verestern der freien
 30 Fettsäuren in jeweils separaten, miteinander verbundenen Veresterungsvorrichtungen mit ei-

nem C₁- bis C₄-Monoalkohol in Gegenwart eines sauren Katalysators und Glycerin als Schleppmittel bei 60°C bis 65°C unter Bildung eines Veresterungsgemisches,

- 5 b) teilweises Aufreinigen des Veresterungsgemisches durch teilweises Abtrennen von Schleppmittel, saurem Katalysator und nicht-umgesetztem C₁- bis C₄-Monoalkohol,
- 10 c) mindestens zweimaliges Umestern der Fettsäuretriglyceride in jeweils separaten, miteinander verbundenen Umesterungsvorrichtungen mit einem C₁- bis C₄-Monoalkohol in Gegenwart eines basischen Katalysators bei 60°C bis 65°C unter Bildung eines Umesterungsgemisches, und
- 15 d) Aufreinigen des Umesterungsgemisches durch Abtrennen von basischem Katalysator, nicht-umgesetztem C₁- bis C₄-Monoalkohol und des bei der Umesterung gebildeten Glycerins durch Behandlung mit Wasser in mindestens einem Separator und anschließendes Trocknen,
- 20

dadurch gekennzeichnet, dass der zum Verestern eingesetzte C₁- bis C₄-Monoalkohol, das zum Verestern eingesetzte Schleppmittel Glycerin und das zur Aufreinigung des Umesterungsgemisches eingesetzte Wasser zumindest teilweise aus den Veresterungs- und Umesterungsgemischen rückgewonnen werden und dass die sauren und basischen Katalysatoren nach Aufreinigung aus den Veresterungs- und Umesterungsgemischen unter Bildung eines als Düngemittel geeigneten Salzes umgesetzt werden.

25

30

Die vorliegende Erfindung löst das ihr zugrunde liegende technische Problem auch durch die Bereitstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, das heißt einer Vorrichtung, die eine integrierte Kombination von Einheiten zur sauren Veresterung und basischen Umesterung aufweist.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens erlauben in einfacher und kostengünstiger Weise die Herstellung von Biodiesel aus einer Vielzahl gereinigter oder ungereinigter öl- und/oder fetthaltiger Ausgangsmaterialien. Vorzugsweise werden insbesondere gebrauchte Öle oder Fette mit unterschiedlichstem Gehalt an freien Fettsäuren, beispielsweise Frittieröle, technischer Talg, Schlachtabfälle etc eingesetzt, die gegenüber den üblicherweise zur Herstellung von Biodiesel verwendeten Ausgangsmaterialien, wie Rapsöl, äußerst preiswert sind. Diese Ausgangsmaterialien werden, nachdem sie gegebenenfalls vorgereinigt wurden, um beispielsweise Schleimstoffe oder unlösliche Partikel wie Knochen etc. zu entfernen, mindestens einmal und vorzugsweise mehrmals einer sauren Veresterung mit einem C₁- bis C₄-Monoalkohol unter Verwendung eines sauren Katalysators und eines Schleppmittels unterworfen. Durch die ein- oder mehrmalige saure Veresterung werden die in den Ausgangsmaterialien vorhandenen freien Fettsäuren nahezu vollständig in ihre entsprechenden Alkylester überführt. Das auf diese Weise erhaltene Veresterungsgemisch, das die Alkylester der freien Fettsäuren und die als Fettsäuretriglyceride vorliegenden Öle

- und Fette enthält, wird, nachdem zumindest ein Teil des nicht-umgesetzten Monoalkohols, des verwendeten sauren Katalysators und des Schleppmittels entfernt wurde, dann direkt mindestens einer zweimaligen basischen Umesterung mit dem gleichen C_1 - bis C_4 -Monoalkohol in Gegenwart eines basischen Katalysators unter Freisetzung von Glycerin unterworfen. Durch die mehrmalige basische Umesterung werden nahezu alle im Ausgangsgemisch enthaltenen Fettsäuretriglyceride in die Alkylester der in den Triglyceriden gebundenen höheren Fettsäuren überführt. Dabei wird ein Umesterungsgemisch erhalten, das die Alkylester der freien Fettsäuren und die Alkylester der im Ausgangsmaterial als Glyceride gebundenen Fettsäuren umfasst. Durch die hintereinander durchgeführten mehrmaligen Veresterungs- und Umesterungsreaktionen wird eine nahezu 100%-ige Umsetzung der eingesetzten Ausgangsgemische zu Biodiesel erreicht.
- 20 Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens erlauben in vorteilhafter Weise auch die gleichzeitige Verwendung mehrerer unterschiedlicher Ausgangsmaterialien mit einem unterschiedlichen Gehalt an freien Fettsäuren. Erfindungsgemäß besteht die Möglichkeit, zunächst ein Ausgangsmaterial mit einem hohen Anteil freier Fettsäuren zu verestern. Das dabei erhaltene Veresterungsgemisch kann dann in vorteilhafter Weise mit einem Ausgangsgemisch, das von vorn herein kaum Fettsäuren enthält, gemischt und dann umgeestert werden. Selbstverständlich besteht auch die Möglichkeit, solche unterschiedlichen Ausgangsmaterialien vor Durchführung

des erfindungsgemäßen Verfahrens zu mischen und dann gemeinsam zu verestern und danach umzuestern.

Die Anzahl der durchzuführenden Veresterungs- und Umesterungsreaktionen richtet sich dabei insbesondere nach der Beschaffenheit, beispielsweise der Zusammensetzung wie dem Gehalt an freien Fettsäuren und Fettsäuretriglyceriden, und nach der Reinheit der eingesetzten Ausgangsgemische. Erfindungsgemäß ist beispielsweise vorgesehen, dass ein Ausgangsmaterial mit einem hohen Gehalt an freien Fettsäuren und einem niedrigen Gehalt an Fettsäuretriglyceriden mehr Veresterungsreaktionen und weniger Umesterungsreaktionen unterworfen wird als ein Ausgangsmaterial mit einem geringeren Gehalt an freien Fettsäuren und einem höheren Gehalt an Fettsäuretriglyceriden. Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des anmeldungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der umzusetzenden unterschiedlichen Ausgangsmaterialien sehr einfach umgerüstet werden kann. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist beispielsweise vorgesehen, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung insgesamt etwa 10 Kolonnen zur Veresterung und Umesterung der Ausgangsmaterialien umfasst. Weist das Ausgangsmaterial einen sehr hohen Anteil an freien Fettsäuren, aber einen sehr geringen Anteil an Fettsäuretriglyceriden auf, so können beispielsweise 8 der Kolonnen zur sauren Veresterung verwendet werden, aber nur 2 Kolonnen zur basischen Umesterung. Enthält das Ausgangsmaterial jedoch einen relativ geringen Anteil an freien Fettsäuren und ei-

nen relativ hohen Anteil an Fettsäureglyceriden auf, so können beispielsweise 4 der Kolonnen zur Veresterung und 4 bis 6 der Kolonnen zur basischen Umesterung verwendet werden. Erfindungsgemäß ist es
5 aber auch möglich, einige der Kolonnen der erfindungsgemäßen Vorrichtung vollkommen abzuschalten und weniger Veresterungs-und/oder Umesterungsreaktionen durchzuführen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung erlaubt somit eine beliebige Einteilung der
10 Kolonnen in Abhängigkeit insbesondere vom Fettsäuregehalt der verwendeten Ausgangsmaterialien.

Der erfindungsgemäß hergestellte Biodiesel weist eine hohe Reinheit bei niedrigster Säurezahl und äußerst geringem Glycerin-Gehalt auf und erfüllt
15 sämtliche an einen Biodiesel gestellte Qualitätskriterien. So werden beispielsweise die nach dem europäischen Kraftstoffstandard EN 14214 gestellten Qualitätskriterien erfüllt, mit Ausnahme des so genannten CFPP (Kälte-Eigenschaft), der vom Rohmaterial vorgegeben ist und nur durch geeignete Additive beeinflussbar ist.
20

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Biodiesel und die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens erlauben in vorteilhafter Weise erhebliche Einsparungen an Energie und Verbrauchsmaterialien gegenüber den im Stand der
25 Technik bekannten Verfahren beziehungsweise Vorrichtungen zur Herstellung von Biodiesel. Die Energie-Einsparungen ergeben sich einerseits aus den relativ geringen Reaktionstemperaturen von 60°C bis
30 65°C und andererseits insbesondere aus der Tatsache, dass die einzelnen Reaktionsschritte bei Nor-

maldruck durchgeführt werden, d.h. es muss keine Energie zur Erzeugung eines hohen Druckes aufgewendet werden. Die Einsparung an Materialien ergeben sich beispielsweise aus der Tatsache, dass ein

5 ständig zu erneuernder Teilstrom des Katalysator-

kreislaufts der Veresterung gleichzeitig zur Neutra-

lisation des basischen Katalysators der Umesterung

verwendet wird und dass Methanol, bezogen auf die

10 Ausgangsmenge an Fettsäuregemisch, in einem Anteil

von nur etwa 25% eingesetzt werden muss, wobei die

Ausbeute des Gesamtverfahrens dennoch 100% beträgt.

Die Einsparungen an Verbrauchsmaterialien, d.h. den

Materialien und Mitteln, die zur Durchführung der

einzelnen Reaktionsschritte eingesetzt werden, er-

15 geben sich auch insbesondere aus der Tatsache, dass

das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungs-

gemäße Vorrichtung in besonders vorteilhafter Weise

eine Aufreinigung und Rückgewinnung der eingesetz-

ten Materialien und Mittel erlauben, so dass diese

20 anschließend wieder in den entsprechenden Reakti-

onsschritten eingesetzt werden können. Vorteilhaft-

erweise erfolgen die Aufreinigungsschritte des er-

findungsgemäßen Verfahrens im Kreislauf, so dass

25 eine Mehrfachnutzung der aufgereinigten Mittel er-

möglicht wird. So kann beispielsweise das bei der

sauren Veresterung verwendete Schleppmittel Glyce-

rin nahezu vollständig aus den bei der Veresterung

und Umesterung entstehenden Gemischen zurückgewon-

nen werden. Auch der bei den Reaktionen nicht umge-

30 setzte C₁- bis C₄-Monoalkohol wird aus den Vereste-

rungs- und Umesterungsgemischen rückgewonnen und

nach Rückführung erneut verwendet, insbesondere bei

der sauren Veresterung. Auch das in Aufreinigungs-

schritten verwendete Wasser beziehungsweise das bei

der sauren Veresterung anfallende Reaktionswasser
 kann nach Aufreinigung im Kreislauf rückgeführt und
 erneut verwendet werden, wodurch der Wasser-
 verbrauch reduziert wird. In vorteilhafter Weise
 5 gestattet das erfindungsgemäße Verfahren auch eine
 schadlose Entsorgung der für die Veresterungs- be-
 ziehungsweise Umesterungsreaktionen eingesetzten
 sauren und basischen Katalysatoren, wobei diese aus
 den Umsetzungsgemischen gewonnen und miteinander
 10 umgesetzt werden, wobei als Düngemittel verwendbare
 Salze gebildet werden. Das heißt, das erfindungsge-
 mäße Verfahren zur Biodiesel-Herstellung und die
 erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung die-
 ses Verfahrens dienen gleichzeitig auch zur Her-
 15 stellung von Düngemitteln.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von
 Biodiesel und die erfindungsgemäße Vorrichtung er-
 lauben somit eine besonders umweltfreundliche Her-
 stellung von Biodiesel. Einerseits werden ökolo-
 20 gisch bedenkliche Ausgangsgemische einer Wiederver-
 wertung zugeführt und andererseits werden die bei
 der Herstellung eingesetzten Mittel und Materialien
 rückgewonnen und im Kreislauf rückgeführt, so dass
 die Umwelt nicht mit Schadstoffen belastet wird.

25 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von
 Biodiesel sieht also vor, dass fett- und/oder öl-
 haltige Ausgangsgemische mit freien Fettsäuren
 durch mehrmaliges saures Verestern und mehrmaliges
 basisches Umestern zu Biodiesel umgesetzt werden.

30 Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird
 unter "Biodiesel" ein Gemisch aus Monoalkyl-Estern

von Fettsäuren verstanden, das aus öl- und/oder fetthaltigen Ausgangsgemischen gewonnen und in Dieselmotoren direkt als Kraftstoff eingesetzt werden kann.

- 5 Unter „freie Fettsäuren enthaltenden Fettsäuretriglycerid-Ausgangsgemische“ werden Zusammensetzungen verstanden, die Fette und Öle sowie nicht gebundene freie Fettsäuren enthalten und die mittels Veresterung und/oder Umesterung in Biodiesel
- 10 überführt werden können. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass der Anteil von Fetten und Ölen an der Gesamtzusammensetzung 0% bis 100%, vorzugsweise mindestens 20%, bevorzugter mindestens 30% und am stärksten bevorzugt mehr als 40% beträgt und der
- 15 Anteil freier Fettsäuren bei 100% bis 0%, vorzugsweise mindestens bei 1% liegt. Unter „freien Fettsäuren“ werden ungesättigte oder gesättigte Alkanocarbonsäuren mit unverzweigter Kohlenstoff-Kette verstanden, die in den Ausgangsgemischen chemisch
- 20 nicht gebunden sind. Fettsäuren mit 1 bis 7 C-Atomen werden als niedere Fettsäuren bezeichnet, Fettsäuren mit 8 bis 12 C-Atomen als mittlere Fettsäuren und Fettsäuren mit mehr als 12 C-Atomen als höhere Fettsäuren. Erfindungsgemäß kann es sich bei
- 25 den freien Fettsäuren sowohl um niedere und mittlere als auch um höhere Fettsäuren handeln.

Unter „Fetten und Ölen“ werden feste, halbfeste oder flüssige Fettsäuretriglyceride insbesondere des Pflanzen- oder Tierkörpers verstanden, die chemisch

30 im Wesentlichen aus gemischten Glycerinestern höherer Fettsäuren mit gerader Anzahl von Kohlenstoffatomen bestehen. Fette und Öle sind wasserunlöslich

und weisen stets eine geringere Dichte als Wasser auf. Während pflanzliche Fette und Öle praktisch ausschließlich geradkettige Fettsäuren enthalten, spielen bei tierischen Fetten und Ölen jedoch auch
 5 Fettsäuren mit ungerader Kohlenstoff-Zahl eine Rolle. Die in pflanzlichen Fetten und Ölen vorkommenden ungesättigten Fettsäuren liegen in der cis-Form vor, während tierische Fettsäuren häufig trans-konfiguriert sind.

10 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass insbesondere gebrauchte oder ungebrauchte, ungereinigte oder gereinigte pflanzliche, tierische oder technische Öle oder Fette oder Gemische davon mit einem Anteil
 15 freier Fettsäuren von 0 % bis 100 %, vorzugsweise von über 1%, als Ausgangsgemische verwendet werden können. Unter „gebrauchten Fetten und Ölen“ werden fett- oder ölhaltige Materialien verstanden, die nach Gewinnung aus entsprechenden pflanzlichen oder
 20 tierischen Ausgangsmaterialien insbesondere zu technischen Zwecken oder Zwecken der Nahrungsmittelherstellung verwendet wurden und die infolge dieser Verwendung chemisch modifiziert oder unmodifiziert sein oder zusätzliche Inhaltsstoffe, die insbesondere im Zusammenhang mit dieser Verwendung
 25 stehen, aufweisen können. Unter „ungebrauchten Fetten und Ölen“ werden fett- oder ölhaltige Materialien verstanden, die nach ihrer Gewinnung aus den entsprechenden pflanzlichen oder tierischen Ausgangsmaterialien noch keinem anderen technischen
 30 Zweck zugeführt wurden oder die noch nicht zum Zwecke der Nahrungsmittelherstellung zugeführt wurden und die daher nur Inhaltsstoffe aufweisen, die aus den Ausgangsmaterialien stammen beziehungsweise die

mit der Gewinnung aus den Ausgangsmaterialien im Zusammenhang stehen. „Gereinigt“ bedeutet, dass die pflanzlichen, tierischen oder technischen Fette oder Öle vor ihrer Verwendung im erfindungsgemäßen Verfahren zum Zwecke der Aufreinigung und/oder Konzentrierung der freien Fettsäuren oder Fettsäuretriglyceride vorbehandelt wurden, um andere Inhaltsstoffe, beispielsweise Proteine, Farbstoffe, etc. zu entfernen. „Ungereinigt“ bedeutet daher, dass die pflanzlichen, tierischen oder technischen Fette oder Öle vor ihrer Verwendung im erfindungsgemäßen Verfahren keiner derartigen Vorbehandlung unterzogen wurden. „Pflanzliche Öle und Fette“ sind solche, die zum überwiegenden Teil aus pflanzlichen Ausgangsmaterialien wie Samen, Wurzeln, Blättern oder anderen geeigneten Pflanzenteilen stammen. Tierische Fette oder Öle stammen zum überwiegenden Teil aus tierischen Ausgangsmaterialien, wie tierischen Organen, Geweben oder anderen Körperteilen oder Körperflüssigkeiten wie Milch. „Technische Öle und Fette“ sind solche, die insbesondere aus tierischen oder pflanzlichen Ausgangsmaterialien gewonnen und für technische Zwecke aufbereitet wurden.

Die erfindungsgemäß eingesetzten gebrauchten oder ungebrauchten, ungereinigten oder gereinigten Öle und/oder Fette sind insbesondere ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Soapstock, Brown Grease, Yellow Grease, technischem Talg, technischem Schmalz, Frittierölen, Tierfett, Speisetalg, pflanzlichen Rohölen, beispielsweise rohem Palmöl, tierischen Rohölen oder -fetten oder Gemischen davon.

Unter „Soapstock“ (Seifenstock) wird ein bei der Verarbeitung von pflanzlichen Ölen anfallendes Nebenprodukt verstanden, insbesondere ein Nebenprodukt von Speiseöl-Raffinerien auf der Basis von Soja-, Rüb- oder Sonnenblumenöl. Soapstock weist einen Anteil von freien Fettsäuren von etwa 50% bis 80% auf.

Unter „Brown Grease“ wird ein tierfetthaltiges Abfallprodukt verstanden, das einen Anteil von freien Fettsäuren von über 15% bis 40% aufweist. „Yellow Grease“ enthält etwa 5% bis 15% freie Fettsäuren.

Unter „technischem Talg“ und „technischem Schmalz“ werden tierische Fette verstanden, die für technische Zwecke hergestellt und nach dem Trocken- oder Nassschmelzverfahren beispielsweise aus Schlachtabfällen gewonnen werden. Technische Talge werden nach ihrer Säurezahl bewertet und gehandelt, wobei der Gehalt an freien Fettsäuren je nach Qualität zwischen 1 und 15 bis 20 Gew.-% und teilweise noch höher liegt. Technische Talge weisen im Allgemeinen eine Säurezahl von etwa 10 bis 40 oder noch höher auf. Dazu gehören unter anderem technischer Rindertalg, US fancy tallow, US bleachable fancy tallow, US special tallow, US Talg A und Tierkörperfette.

Zu den „Tierfetten“ gehören insbesondere bei der Verwertung von Geflügel-, Rinder-, Schweine-, Fisch- und Meeressäuger-Körpern abfallende fetthaltige Produkte, beispielsweise Solarstearin, ein fester Rückstand, der nach dem Auspressen von Schmalzöl aus Schweineschmalz verbleibt. Unter „ungereinigten pflanzlichen Rohölen“ werden flüssige

oder feste Zusammensetzungen verstanden, die aus pflanzlichen Ausgangsmaterialien durch Pressen gewonnen werden, wobei sie keine andere Behandlung erfahren haben als Absetzen in allgemein üblichen Zeiträumen und Abschleudern oder Filtrieren, bei dem zur Trennung des Öls von festen Bestandteilen nur mechanische Kräfte wie Schwerkraft, Fliehkraft oder Druck eingesetzt werden. „Ungereinigte pflanzliche Rohöle“ können auch durch Extraktion gewonnene flüssige oder feste pflanzliche Öle sein, wenn sich deren Beschaffenheit weder durch Geruch, Farbe oder Geschmack noch durch besondere festgelegte analytische Daten von den entsprechenden, mittels Pressen gewonnenen pflanzlichen Ölen unterscheidet. Der Anteil freier Fettsäuren in ungereinigten pflanzlichen Fetten und Ölen ist unterschiedlich. So weist rohes Palmöl einen Anteil freier Fettsäuren von etwa 5% bis etwa 15% auf. Zu den „ungereinigten pflanzlichen Rohölen“ gehören beispielsweise auch erntefrische Rohöle von Rüböl, Sojaöl, Sonnenblumenöl, Maiskeimöl, Baumwollsaatöl, Palmkern- und Kokosfett mit einem Anteil freier Fettsäuren von 2 % bis 3 %. Selbstverständlich können auch gereinigte pflanzliche Öle, beispielsweise Raffinate oder Halbraffinate, der vorstehend genannten pflanzlichen Öle als Ausgangsmaterialien eingesetzt werden.

Zu tierischen Rohölen oder -fetten gehören beispielsweise Milchfett, Wollfett, Rindertalg, Schweineschmalz, Fischöle, Fischtran, und ähnliche. Auch diese tierischen Fette oder Öle können erfindungsgemäß in gereinigter oder ungereinigter Form als Ausgangsmaterialien für das erfindungsgemäße

Verfahren zur Herstellung von Biodiesel eingesetzt werden.

In einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die ungereinigte freie Fettsäuren enthaltenden Ausgangsgemische vor dem ersten Veresterungsschritt gereinigt werden. Die Vorreinigung kann unter Verwendung üblicherweise auf dem Fachgebiet verwendeter Reinigungsverfahren für Fette und Öle wie Klären, Filtration, Behandlung mit Bleichen oder Behandlung mit Säuren oder Alkali zur Abtrennung störender Verunreinigungen wie Proteine, Phosphatide und Schleimstoffe erfolgen.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die gegebenenfalls vorgereinigten beziehungsweise vorbehandelten fett- und/oder ölhaltigen Ausgangsgemische in einem ersten Schritt ein- oder mehrmals mit einem C₁- bis C₄-Monoalkohol, insbesondere Methanol oder Ethanol, verestert und in einem zweiten Schritt mindestens zweimal mit dem gleichen C₁- bis C₄-Monoalkohol umgeestert werden. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer „Veresterung“ die zur Bildung eines Esters führende Umsetzung eines Alkohols mit einer Säure, insbesondere einer freien Fettsäure verstanden. Bei der erfindungsgemäßen Veresterung werden die freien Fettsäuren der Ausgangsmaterialien daher in die Alkylester der freien Fettsäuren überführt. Unter einer „Umesterung“ wird eine Umsetzung verstanden, bei der ein Ester, insbesondere ein Fettsäuretriglycerid, in einen anderen Ester, insbesondere einen Alkylester einer höheren Fettsäure, übergeführt wird, beispielsweise

durch Alkoholyse in Gegenwart von Säuren oder Alkalien.

Erfindungsgemäß ist insbesondere vorgesehen, dass die Veresterung der freien Fettsäuren in Gegenwart
 5 eines sauren Katalysators durchgeführt wird. „Katalysatoren“ sind Stoffe, die die Aktivierungsenergie zum Ablauf einer Reaktion herabsetzen und dadurch die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen, ohne im End-
 10 produkt der Reaktion zu erscheinen. Saure Katalysatoren sind solche mit einem pH-Wert von weniger als 7. Erfindungsgemäß ist insbesondere die Verwendung von sauren, nicht flüchtigen Veresterungskatalysatoren vorgesehen, wobei vorzugsweise schwer flüchtige anorganische Säuren wie Schwefelsäure, organi-
 15 sche Abkömmlinge davon sowie p-Toluolsulfonsäure oder andere geeignete sauren Substanzen eingesetzt werden können.

Vorteilhafterweise wird zur sauren Veresterung der C₁-C₄-Monoalkohol in einer solchen Menge zugesetzt,
 20 dass einerseits ein deutlicher Überschuss des Monoalkohols im Vergleich zu den zu veresternden freien Säuren vorliegt und dass andererseits am Ende der Veresterungsreaktion eine saubere Trennung in eine Öl- und eine Monoalkoholphase gewährleistet ist.
 25 Vorzugsweise werden C₁-C₄-Monoalkohole wie Methanol und Ethanol zur sauren Veresterung der freien Fettsäuren der Ausgangsgemische eingesetzt.

Erfindungsgemäß erfolgt die Veresterung der freien Fettsäuren des Ausgangsgemisches unter Verwendung
 30 von Glycerin als Schleppmittel. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einem

- „Schleppmittel“ ein im Allgemeinen inerte Stoff verstanden, der dazu dient, eine Komponente eines Gemisches anzureichern, ohne mit dieser eine feste Bindung einzugehen. Das Schleppmittel hilft bei der
- 5 Phasentrennung durch Verstärken des Trenneffektes und dient zur Einstellung der Dichte einer Phase sowie zum Abfangen des Reaktionswassers. Erfindungsgemäß wird als Schleppmittel Glycerin eingesetzt. Glycerin ist Bestandteil der Fettsäuretriglyceride und wird in den nachfolgenden Umesterungsreaktionen der Fettsäuretriglyceride zu Alkylestern ohnehin freigesetzt. Erfindungsgemäß ist daher in besonders vorteilhafter Weise vorgesehen, dass das Schleppmittel Glycerin in den Umesterungsreaktionen gewonnen und in die vorgeschalteten
- 10 Veresterungsreaktionen rückgeführt wird, so dass das Schleppmittel Glycerin im Wesentlichen nur zu Beginn des anmeldungsgemäßen Verfahrens zugegeben werden muss.
- 20 Erfindungsgemäß erfolgt die saure Veresterung der freien Fettsäuren bei einer Temperatur von etwa 60°C bis 65°C unter Normaldruck. Das heißt, bei der sauren Veresterung werden vergleichsweise milde Reaktionsbedingungen gewählt. Die Reaktion der sauren
- 25 Veresterung selbst wird in einem oder vorzugsweise mehreren Rührkesseln oder Kolonnen ausgeführt, die zu Kaskaden geschaltet sind und im Gleich- oder Gegenstrom der beiden Flüssigphasen durchströmt werden.
- 30 In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung wird die saure Veresterung der freien Fettsäuren in einer als Kolonne ausgeführten Veresterungseinrichtung

durchgeführt. „Kolonnen“ sind säulen- oder turmartige Reaktionsgefäße, die auch die Abtrennung mindestens einer Phase erlauben. Die erfindungsgemäß verwendeten Kolonnen können geeignete Kolonnen-
5 Einbauten, wie verstellbare oder bewegliche Kolonnenböden, Füllkörper, Flüssigkeitsverteiler, geordnete Packungen aus Drahtgewebebändern, Rückflussverteiler und Tragroste aufweisen. Durch ihre langgestreckte Bauweise ermöglichen die erfindungsgemäß
10 eingesetzten Kolonnen eine Pfropfenströmung und eine kontinuierlich zunehmende Gleichgewichtsverschiebung bei bestimmten Umsetzungen im Gleich- oder Gegenstrom von zwei Phasen. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die zur Veresterung verwendeten
15 Kolonnen im Gleichstrom von unten nach oben oder von oben nach unten oder auch im Gegenstrom durchströmt werden können, wobei die Kolonnen durch Umpumpen als Einzelreaktoren genutzt werden können.

Je nach Beschaffenheit des eingesetzten Fett-
20 und/oder ölhaltigen Ausgangsgemisches werden die Fettsäuren der Ausgangsgemische erfindungsgemäß ein oder mehreren Schritten der sauren Veresterung in separaten Veresterungskolonnen unterworfen. Vorzugsweise erfolgt die saure Veresterung der Ausgangsgemische mindestens zweimal. Auf diese Weise
25 wird eine nahezu 100%-ige Veresterung der in den Ausgangsmaterialien verfügbaren freien Fettsäuren erreicht. Die einzelnen Veresterungskolonnen sind hintereinander geschaltet und miteinander verbunden,
30 wobei das in einer Kolonne erhaltene Veresterungsgemisch zur weiteren und zunehmenden Veresterung oder zum Erhalt einer abnehmenden Säurezahl in die nachgeschaltete Kolonne überführt wird. In die

letzte nachgeschaltete Veresterungskolonne wird anschließend oder gleichzeitig ein frisches Gemisch von Schleppmittel, Monoalkohol und saurem Katalysator gegeben und anschließend wird mit diesem Gemisch die saure Veresterung der freien Fettsäuren in der vorgeschalteten Kolonne fortgeführt. Die beiden Phasen, das heißt das Fettsäuregemisch als leichte Phase und das mit dem Schleppmittel beschwerte Methanol-Katalysator-Gemisch als schwere Phase, werden vorzugsweise im Gegenstrom geführt. Zur Erzielung der erwünschten niedrigen Säurezahl des Veresterungsgemisches vor der Umesterungsreaktion enthalten die miteinander verbundenen Kolonnen unterschiedliche Konzentrationen des sauren Katalysators. Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass die Konzentration des sauren Katalysators in den einzelnen Veresterungskolonnen unterschiedlich sein kann. Werden beispielsweise 3 Kolonnen zur Veresterung verwendet, so können die Konzentrationen des sauren Katalysators in diesen drei einzelnen Kolonnen bei 3 % bis 10 % (im Bereich hoher Säurezahlen des Fettsäuregemisches), 1 % bis 5 % (bei mittleren Säurezahlen) und 0,1 % bis 1,5 % (im Bereich der niedrigen Säurezahlen, zum Beispiel SZ 10 bis 0,5) liegen. Da die Gefahr einer Rückspaltung des gebildeten Esters besteht, wird mit abnehmendem Fettsäuregehalt eines Gemisches die Konzentration des eingesetzten sauren Katalysators vermindert. Gleichzeitig wird mit fallender Fettsäurekonzentration die Methanol-Konzentration erhöht. Das heißt, bei einem hohen Fettsäuregehalt erfolgt die Veresterung aus Gründen der Energie-Einsparung bei der späteren Abtrennung des gebildeten Reaktionswassers durch destillative Aufreinigung bei einer geringen Metha-

nol-Konzentration und einer hohen Konzentration des sauren Katalysators.

Erfindungsgemäß wird insbesondere im niedrigen Fettsäurebereich durch einen auf eine oder zwei Kolonnen beschränkten Eigenkreislauf des Methanol-Katalysator-Gemisches das Verhältnis Methanol zu Fettsäuregemisch auf das 2- bis 12-fache, vorzugsweise 4-fache bis 6-fache derjenigen Menge Methanol-Katalysator-Gemisch erhöht, die für das Fettsäuregemisch mit höherer Säurezahl im Eingangsreich der sauren Veresterung eingesetzt wird.

Da dieser Eigenkreislauf zur Erzielung einer möglichst niedrigen Säurezahl gleichzeitig einen möglichst niedrigen Gehalt an Reaktionswasser (deutlich unter 1% Wasser) aufweisen muss, wird dieser mengenmäßig erhöhte Kreislauf von Methanol-Schleppmittel-Katalysator-Gemisch über geeignete Wasserfänger wie Molekularsiebe oder Membranfilter geleitet, die ihrerseits apparativ mindestens zweifach vorhanden sind und wegen der Wasser-Anreicherung alternierend betrieben werden.

Erfindungsgemäß können auch mehrere oder jede der Veresterungskolonnen mit einem solchen Eigenkreislauf betrieben werden.

Erfindungsgemäß besteht auch die Möglichkeit, dass nach beendeter Veresterung in einer Kolonne das in dieser Kolonne erhaltene Veresterungsgemisch nur teilweise in die nachgeschaltete Kolonne überführt wird, während ein Teil des Veresterungsgemisches in eine vorgeschaltete Kolonne überführt und dort

nochmals verestert wird. Das heißt, falls die einzelnen hintereinander geschalteten Kolonnen unterschiedliche, insbesondere abnehmende Konzentrationen des sauren Katalysators enthalten, wird erfindungsgemäß der Teil des erhaltenen Veresterungsgemisches, der in die nachgeschaltete Kolonne überführt wird, in Gegenwart einer geringeren Konzentration des sauren Katalysators weiterverestert, während der Teil des erhaltenen Veresterungsgemisches, der in die vorgeschaltete Kolonne überführt wird, in Gegenwart einer höheren Konzentration des sauren Katalysators verestert wird. Durch die Rückführung eines Teils eines erhaltenen Veresterungsgemisches in eine vorgeschaltete Kolonne kann die Löslichkeit des Methanol-Katalysator-Gemisches im ursprünglichen Triglycerid-Fettsäure-Gemisch und damit die Reaktionsgeschwindigkeit verbessert werden, dadurch wird insgesamt eine nahezu 100%-ige Veresterung der verfügbaren freien Fettsäuren erreicht.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das in jeder Kolonne nach beendeter Veresterung erhaltene Veresterungsgemisch vor Überführung in die nächste Veresterungs- beziehungsweise Umesterungskolonne vorgereinigt wird, um sicherzustellen, dass die nachfolgende Reaktion unter optimalen Bedingungen erfolgen kann. Beispielsweise kann so ein Teil der entstandenen Veresterungsprodukte, z.B. Reaktionswasser, entfernt werden, die die nachfolgende Reaktion eventuell beeinträchtigen. Insbesondere wird das in einer Veresterungseinheit erhaltene Veresterungsgemisch dadurch vorgereinigt, dass das Schleppmittel, der saure Katalysator, das während

- der Veresterung gebildete Wasser und der nicht umgesetzte C₁-C₄-Monoalkohol in Form eines Gemisches, das die schwere Phase bildet, mittels Phasentrennung von dem in der leichten Phase befindlichen Veresterungsgemisch zumindest teilweise abgetrennt wird. Das bei der Vorreinigung mittels Phasentrennung abgetrennte Gemisch aus Schleppmittel, saurem Katalysator und Monoalkohol, d.h. die schwere Phase, wird in spezielle Vorrichtungen zur Aufreinigung und Trennung der Bestandteile des Gemisches überführt. In diesen Aufreinigungsvorrichtungen erfolgt also erfindungsgemäß eine spezifische Aufreinigung und Rückgewinnung der Bestandteile des Gemisches, also des Schleppmittels Glycerin, des sauren Katalysators und des Monoalkohols. Die so getrennten und aufgereinigten Bestandteile können dann erneut in erfindungsgemäßen Verfahrensschritten, insbesondere den sauren Veresterungsschritten, eingesetzt werden.
- Erfindungsgemäß ist insbesondere vorgesehen, dass die schwere Phase umfassend sauren Katalysator, Schleppmittel und Monoalkohol, zunächst in eine Trocknungsvorrichtung überführt wird. In dieser Trocknungsvorrichtung werden der nicht-umgesetzte Monoalkohol und Wasser größtenteils von saurem Katalysator und Schleppmittel abgetrennt wird. Wasser wird in der Trocknungsvorrichtung entweder in Molekularsieben oder Mikrofiltern abgetrennt oder aber zusammen mit dem Monoalkohol als Wasser-Monoalkohol-Gemisch mittels Destillation abgedampft. Der in der Trocknungsvorrichtung abgetrennte Monoalkohol wird dann zur weiteren Aufreinigung in eine Rektifikationsvorrichtung überführt. Unter

einer „Rektifikationsvorrichtung“ wird eine Vorrichtung zur Durchführung einer Gegenstrom- oder Kolonnendestillation verstanden, die eine Zerlegung flüssiger oder dampfförmiger Gemische dadurch ermöglicht, dass Flüssigkeit und Dampf unter unmittelbarer Berührung, beispielsweise an Füllkörpern, im Gegenstrom zueinander geführt werden. Der in der Rektifikationsvorrichtung gereinigte C₁-C₄-Monoalkohol weist einen Wasser-Anteil von etwa 1% bis 2% auf und kann dann aus der Rektifikationsvorrichtung wieder im Kreislauf in die Veresterungsvorrichtung rückgeführt werden und steht dann erneut als Reaktand zur Verfügung. Das in der Veresterungsvorrichtung erneut verwendete rektifizierte Methanol kann durchaus einen Wassergehalt von 1% bis 2% aufweisen, da während der Veresterung ohnehin Wasser entsteht, das dann vom Schleppmittel wieder entfernt wird. In der Rektifikation kann daher an Rücklauf und damit an Energie gespart werden.

Das in der Trocknungsvorrichtung erhaltene, größtenteils vom Wasser und Monoalkohol befreite Gemisch, das Schleppmittel, sauren Katalysator und Restmengen an Monoalkohol enthält, wird aus der Trocknungsvorrichtung abgeleitet, wobei ein Teil dieses Gemisches im Kreislauf direkt wieder in die Veresterungskolonnen rückgeführt werden kann, während ein kleiner Teilstrom dieses Gemisches in die Ansäuerungsvorrichtung der Umesterung geleitet wird. Der für die Ansäuerungsvorrichtung der Umesterung bestimmte Teilstrom des von Methanol und Reaktionswasser befreiten Schleppmittel-Katalysator-Gemisches wird in seiner Menge genau

auf die Neutralisierung des basischen Katalysators in der seifenhaltigen schweren Phase der Umesterung und anschließende ausreichende Ansäuerung derselben abgestimmt. Nach Ansäuerung und hinreichender Ver-
 5 weilzeit zur Abscheidung von Fettsäuren aus den in der Umesterung teilweise gebildeten Seifen wird das Gemisch in einen Separator überführt. Im Separator werden die angefallenen Fettsäuren abgetrennt und in die Veresterungsvorrichtung rückgeführt. Das
 10 verbleibende Restgemisch, das noch Glycerin und erhebliche Restmengen des C₁- bis C₄-Monoalkohol enthält, wird dann zur weiteren Aufreinigung aus dem Separator in eine Rektifikationsanlage überführt, in der die Restmengen des Monoalkohols abgetrennt
 15 und in gereinigter Form die Veresterungseinrichtungen rückgeführt werden.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die letzte der hintereinander geschalteten Veresterungskolonnen als Extraktionskolonne
 20 ausgeführt sein kann. Das Veresterungsgemisch kann in der extraktionskolonne unter Verwendung von reinem Monoalkohol oder einem Monoalkohol-Schleppmittel-Gemisch extrahiert werden, wobei dem abwärtsströmenden Veresterungsgemisch aufströmender
 25 leichter Monoalkohol oder aufströmendes leichteres Monoalkohol-Schleppmittel-Gemisch entgegenkommt. Durch die Extraktion werden nicht-veresterte freie Fettsäuren entfernt, die dann im Kreislauf wieder zurück in eine der vorgeschalteten Vereste-
 30 rungskolonnen überführt und dort verestert werden können.

Das nach der letzten Veresterung in der letzten Veresterungskolonne beziehungsweise nach Extraktion in der Extraktionskolonne erhaltene Veresterungsgemisch zeichnet sich dadurch aus, dass nahezu alle
 5 freien Fettsäuren des Fettsäuretriglycerid-Ausgangsgemisches mit dem C₁-C₄-Monoalkohol verestert sind. Dadurch bedingt weist das erfindungsgemäß erhaltene Veresterungsgemisch vor Durchführung der Umesterungsreaktionen eine besonders niedrige
 10 Säurezahl auf, die vorzugsweise bei 0,5 bis 1 liegt. Ferner weist das erhaltene Veresterungsgemisch einen Wassergehalt von maximal 0,5 % auf.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das nach der Veresterung in der letzten Veresterungskolonne erhaltene Veresterungsgemisch mit einer Säurezahl von
 15 0,5 bis 1 und einem Wassergehalt von maximal 0,5% zur basischen Umesterung der Fettsäureglyceride des Ausgangsgemisches in eine mit der letzten Veresterungskolonne verbundene nachgeschaltete Umesterungsvorrichtung überführt wird. Erfindungsgemäß erfolgt die basische Umesterung der Fettsäuretriglyceride mit einem C₁-C₄-Monoalkohol bei einer
 20 Temperatur von etwa 60°C bis 65°C unter Normaldruck, wobei die Alkylester der in den Fettsäuretriglyceriden gebundenen höheren Fettsäuren und
 25 Glycerin erhalten werden.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass dem Veresterungsgemisch vor der Umesterung ein oder mehrere insbesondere gereinigte Fettsäuretriglycerid-Ausgangsgemische zugegeben werden, die einen sehr
 30 geringen Anteil freier Fettsäuren, insbesondere von 0 % bis 1 % aufweisen und bei denen daher eine sau-

- re Veresterung nicht erforderlich ist. Vorzugsweise handelt es sich bei den dem Veresterungsgemisch zugegebenen gereinigten Ausgangsgemischen um Raffinate oder Halbraffinate pflanzlicher Öle, wie Rüßöl, Sojaöl, Sonnenblumenöl, Palmöl, Maiskeimöl, Baumwollsaatöl, Palmkernfett, Kokosfett oder ähnliche, oder Raffinate oder Halbraffinate tierischer Öle und Fette, beispielsweise Fischöl und ähnliche, oder Gemische davon.
- 10 Das nach der letzten Stufe der sauren Veresterung erhaltene Veresterungsgemisch und das/die gegebenenfalls zugegebene(n) gereinigte(n) Ausgangsgemisch(e) werden in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien erfindungsgemäß 2- bis 6-mal in hintereinander geschalteten, miteinander verbundenen separaten Umesterungsvorrichtungen umgeestert. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass auch die Umesterungsvorrichtungen als Kolonnen mit oder ohne Füllkörper ausgeführt sind.
- 20 Die Fettsäuretriglyceride werden vorzugsweise mit dem gleichen C₁-C₄-Monoalkohol umgeestert, der zur sauren Veresterung der freien Fettsäuren eingesetzt wurde. Vorzugsweise handelt es sich bei dem zur basischen Umesterung verwendeten Monoalkohol daher ebenfalls um Methanol oder Ethanol. Die basische Umesterung der Fettsäuretriglyceride erfolgt vorzugsweise bei einer Temperatur von 60°C bis 65°C in Gegenwart eines basischen Katalysators. Der basische Katalysator wird erfindungsgemäß so ausgewählt, dass einerseits eine optimale Umesterung der Fettsäuretriglyceride zu Alkylester höherer Fettsäuren erfolgen kann. Ein anderer Gesichtspunkt bei

- der Auswahl des basischen Katalysators ist, dass dieser vorzugsweise ein Salz mit dem verwendeten sauren Katalysator bilden kann, das sich als Düngemittel einsetzen lässt. Vorzugsweise handelt es
- 5 sich bei dem zur Umesterung der Fettsäuretriglyceride verwendeten basischen Katalysator um Kaliumhydroxid. Auch wasserfreies Natriumhydroxid oder Natriummethylat und andere alkalische Substanzen können als basischer Katalysator eingesetzt werden.
- 10 Das nach Umesterung in einer Kolonne erhaltene Umesterungsgemisch wird vor Überführung in die nächste Kolonne vorzugsweise vorgereinigt. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Umsetzungsgemisch zunächst in der Kolonne einer Phasentrennung unter-
- 15 worfen wird, wobei basischer Katalysator, nicht-umgesetzter Monoalkohol und das bei der Umesterung entstandene Glycerin als schwere Phase zumindest teilweise von dem in der leichten Phase vorhandenen Umesterungsgemisch abgetrennt werden. Das mittels
- 20 Phasentrennung vorgereinigte Umesterungsgemisch wird dann aus der Kolonne, vor Überführung in die nachgeschaltete Kolonne, in einem Separator unter Verwendung von Wasser weiter aufgereinigt. Bei dem verwendeten Wasser handelt es sich vorzugsweise um
- 25 pH-konditioniertes oder in anderer geeigneter Weise gepuffertes Wasser, insbesondere um gepuffertes Kondenswasser oder gepuffertes enthärtetes Wasser. Das erfindungsgemäß verwendete Wasser darf kein Calcium enthalten, da sonst Calciumseifen entstehen, die wegen ihrer amorphen Struktur jegliche
- 30 Filtereinrichtungen bei der Produktion und der späteren Produktverwendung blockieren würden. Im Separator werden weitere Mengen von basischem Katalysa-

tor, nicht-umgesetztem Monoalkohol, Seife, Glycerin sowie das zur Reinigung verwendete Wasser vom Umesterungsgemisch abgetrennt.

5 Das so vorgereinigte Umesterungsgemisch wird dann in eine nachgeschaltete Kolonne zur weiteren Umesterung der Fettsäuretriglyceride mit Monoalkohol überführt, insbesondere dann, wenn es noch nicht-umgesetzte Fettsäuretriglyceride enthält. Handelt es sich bei dem gereinigten Umesterungsgemisch um
10 das Umesterungsgemisch der letzten Umesterungskolonne, bei dem nahezu alle Fettsäuretriglyceride in umgeesterter Form vorliegen, so wird dieses Umesterungsgemisch in mindestens einem weiteren Separator aufgereinigt. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass
15 das in der letzten Umesterungskolonne erhaltene Umesterungsgemisch mindestens in drei nacheinander geschalteten Separatoren unter Verwendung von geeignetem Wasser aufgereinigt wird.

20 Anschließend wird das in den Separatoren gereinigte letzte Umesterungsgemisch in eine Trocknungsanlage überführt, wobei nochmals Restmengen an Wasser entfernt werden. Nach der Trocknung in der Trocknungsvorrichtung liegt das gewünschte Endprodukt Biodiesel in gereinigter Form vor und kann direkt als
25 Kraftstoff eingesetzt werden.

Die in einer Kolonne mittels Phasentrennung erhaltene, vom Umesterungsgemisch abgetrennte schwere Phase, die nicht umgesetztem Monoalkohol, basischen Katalysator und Glycerin enthält, wird zur weiteren
30 Aufreinigung und Trennung der Bestandteile aus der Kolonne in eine Ansäuerungsanordnung überführt.

Auch die in den Separatoren erhaltenen wässrigen Gemische aus nicht umgesetztem Monoalkohol, basischem Katalysator und Glycerin werden zur weiteren Aufreinigung und Trennung der Bestandteile in diese
5 Ansäuerungs Vorrichtung überführt.

Erfindungsgemäß wird anstelle der in dieser Ansäuerungs Vorrichtung benötigten Säure, die üblicherweise frisch von außen zuzuführen ist, kosten- und energiesparend der kleine Teilstrom des sauren Katalysatorgemisches aus der sauren Veresterung eingesetzt, der zur laufenden geringfügigen Erneuerung des Katalysator-Schleppmittel-Gemisches ohnehin ausgeschleust werden muss.
10

Der enthaltene Schleppmittel-Anteil geht dabei zurück in die normale Glycerin-Aufreinigung. Die dann gereinigte Glycerinmenge geht als Schleppmittel zurück in den Katalysator-Kreislauf der sauren Veresterung, der auf diese Weise laufend erneuert wird.
15

In der Ansäuerungs Vorrichtung wird also das aus dem Veresterungsteil stammende saure Katalysatorgemisch mit der alkalischen schweren Phase zur Neutralisierung und Ansäuerung vereinigt, wobei etwa 1-10% des Gesamtgemisches aus der Veresterungsstufe und etwa 90-99% aus der Umesterungsstufe stammen.
20
25 Nach Ansäuerung und hinreichender Verweilzeit zur Spaltung vorhandener Seifen in Fettsäure und Alkali wird das Gemisch aus der Ansäuerungs Vorrichtung in einen Separator überführt.

In diesem Separator werden die durch die Seifenspaltung freigesetzten Fettsäuren in gereinigter Form abgetrennt. Die abgetrennten Fettsäuren werden direkt wieder in die Veresterungsvorrichtung rückgeführt. Das verbleibende Restgemisch, das Glycerin, das sich aus saurem Katalysator und basischem Katalysator bildende Salz und C_1 - C_4 -Monoalkohol sowie Wasser enthält, wird zur weiteren Aufreinigung aus dem Separator in eine Rektifikationsvorrichtung überführt.

In der Rektifikationsvorrichtung wird der restliche Monoalkohol in gereinigter Form vom Glycerin und den übrigen Bestandteilen abgetrennt und zur sauren Veresterung zurückgeführt. Der in die Veresterung zurückgeführte gereinigte Monoalkohol weist einen Wassergehalt von 1% bis 2% auf. Die Reinheit von extern zugeliefertem frischem Methanol liegt normalerweise bei über 99,85%, wobei der Wassergehalt unter 0,1% Wassergehalt liegt. Diese Qualität wird zum Beispiel im Bereich der bereits niedrigen Säurezahlen der sauren Veresterung verwendet, wo ein möglichst niedriger Wassergehalt benötigt wird. Das ist jedoch nicht der Fall im Bereich höherer Säurezahlen der sauren Veresterung, in welchem ohnehin größere Mengen Reaktionswasser entstehen (zum Beispiel 3-6% Wasser, bezogen auf das Fettsäuregemisch). Erfindungsgemäß kann daher für diesen Bereich Methanol eingesetzt werden, das von der Rektifikation kommend einen wesentlich höheren Wassergehalt als 0,1%, nämlich 1,0 bis 2,0% Wasser, aufweist. So kann die Rektifikation mit wesentlich weniger Rücklauf an kondensiertem Methanol gefahren

werden, was direkt den wesentlichen Dampfverbrauch des Gesamtverfahrens deutlich mindert.

Das in der Rektifikationsvorrichtung gleichzeitig anfallende, nahezu methanolfreie Gemisch, umfassend
 5 Glycerin, das aus den Veresterungs- und Umesterungs-Katalysatoren gebildete Salz sowie Reaktions- und Waschwasser, wird in eine Evaporationsvorrichtung überführt, wobei dort das Wasser in gereinigter Form von den anderen Bestandteilen, dem so ge-
 10 nannten Rohglycerin, bestehend aus Glycerin und Salz, abgetrennt wird. Das gereinigte Wasser wird aus der Evaporationsvorrichtung abgeleitet, kondensiert und zu den Separatoren rückgeführt, wo es erneut zur Aufreinigung der Umesterungsgemische eingesetzt werden kann.
 15

Das Rohglycerin wird dann über eine Trocknungs- und Destillationsvorrichtung, Filtriervorrichtung und Dünnschicht-Evaporationsvorrichtung aufgereinigt, wobei das ursprüngliche Gemisch aus saurem und ba-
 20 sischem Katalysator unter Bildung eines als Düngemittel geeigneten Salzes abgeschieden wird. Ein kleiner Teilstrom des frischgewonnenen Glycerins wird als Ersatz für das ausgeschleuste Schleppmittel in die Veresterungsvorrichtungen zurückgeführt.

25 Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls eine Vorrichtung zur Herstellung von Alkylestern höherer Fettsäuren, insbesondere Biodiesel, umfassend in integrierter Kombination eine Veresterungseinheit mit mindestens zwei Veresterungsvorrichtungen zur
 30 Veresterung der freien Fettsäuren, eine mit der Veresterungseinheit verbundene nachgeschaltete Um-

5 esterungseinheit mit mindestens zwei Umesterungs-
 vorrichtungen zur Umesterung der Fettsäuretriglyce-
 ride, eine mit der Umesterungseinheit verbundene
 nachgeschaltete Aufreinigungseinheit zur Aufreini-
 10 gung des hergestellten Biodiesels und eine mit der
 Umesterungseinheit verbundene nachgeschaltete Auf-
 reinigungseinheit zur Aufreinigung und Trennung der
 in der Veresterungseinheit und/oder Umesterungsein-
 heit und/oder Aufreinigungseinheit verwendeten Mit-
 15 tel, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufreini-
 gungseinheit durch mindestens eine Zuleitung und
 mindestens eine Ableitung mit der Veresterungsein-
 heit verbunden ist, so dass in der Aufreinigungse-
 einheit die in der Veresterungseinheit und der U-
 mesterungseinheit verwendeten Mittel gleichzeitig
 aufgereinigt und getrennt und die zur Veresterung
 eingesetzten Mittel im Kreislauf in die Vereste-
 rungseinheit rückgeführt werden.

20 Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung
 von Biodiesel ist in besonders vorteilhafter Weise
 geeignet, Biodiesel aus frischen und gebrauchten
 pflanzlichen, tierischen oder technischen Ölen oder
 Fetten herzustellen. Die erfindungsgemäße Vorrich-
 tung weist insbesondere eine Veresterungseinheit
 25 und eine damit verbundene nachgeschaltete Umeste-
 rungseinheit auf, so dass die in der Veresterung-
 seinheit gebildeten Produkte in die Umesterungsein-
 heit überführt und dort einer Umesterung unterzogen
 werden können.

30 Die erfindungsgemäße Veresterungseinheit weist in
 vorteilhafter Weise mehrere, insbesondere als Ko-
 lonnen ausgeführte Veresterungsvorrichtungen sowie

mehrere, ebenfalls insbesondere als Kolonnen ausgeführte Umesterungseinheiten auf, wobei die Veresterungseinheit mindestens zwei und bis zu z.B. sieben getrennte Kolonnen und die Umesterungseinheit mindestens zwei und bis zu z.B. vier getrennte Kolonnen aufweisen. Die anmeldungsgemäße Vorrichtung erlaubt die variable Verwendung der einzelnen Veresterungs- und/oder Umesterungskolonnen. Die Anzahl der bei Betrieb der erfindungsgemäßen Vorrichtung tatsächlich verwendeten Kolonnen richtet sich dabei insbesondere nach der Beschaffenheit, das heißt Zusammensetzung und Reinheit, der eingesetzten fett- oder ölhaltigen Ausgangsgemische und nach der gewünschten Zusammensetzung und Reinheit des Endproduktes. Enthalten die Ausgangsgemische beispielsweise keine oder nur geringe Mengen an freien Fettsäuren, so kann die gesamte Veresterungseinheit, das heißt alle Kolonnen der Veresterungseinheit, von der übrigen erfindungsgemäßen Vorrichtung getrennt und abgeschaltet werden, so dass die Ausgangsgemische nur Umesterungsreaktionen unterworfen werden. Umfasst das verwendete Ausgangsgemisch hauptsächlich freie Fettsäuren, jedoch keine oder nur geringe Mengen an Fettsäuretriglyceriden, so kann die gesamte Umesterungseinheit von der erfindungsgemäßen Vorrichtung getrennt und abgeschaltet werden, so dass nur Veresterungsreaktionen durchgeführt werden. Selbstverständlich lassen sich auch einzelne Kolonnen der Veresterungseinheit und/oder der Umesterungseinheit abschalten. So ist es beispielsweise möglich, pro Einheit nur zwei Kolonnen einzusetzen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel weist darüber hinaus zwei Aufreinigungseinheiten auf, wobei eine Aufreinigungseinheit (im Folgenden als Biodiesel-Aufreinigungseinheit bezeichnet) zur Aufreinigung und Gewinnung der Produkte, also Biodiesel, dient, während die zweite Aufreinigungseinheit (im Folgenden als Mittel-Aufreinigungseinheit bezeichnet) der Aufreinigung, Trennung und Rückgewinnung der in der Veresterungseinheit, der Umesterungseinheit und Biodiesel-Aufreinigungseinheit verwendeten Mittel dient. Die Biodiesel-Aufreinigungseinheit ist insbesondere mit der Umesterungseinheit verbunden, so dass die in der Umesterungseinheit gebildeten Produkte, also der Biodiesel aufgereinigt werden kann. Die Biodiesel-Aufreinigungseinheit ist darüber hinaus mit der Mittel-Aufreinigungseinheit verbunden, so dass die in der Biodiesel-Aufreinigungseinheit anfallenden Gemische, die die in der Veresterungseinheit und der Umesterungseinheit verwendeten Mittel sowie die in der Biodiesel-Aufreinigungseinheit verwendeten Mittel umfassen, ebenfalls in der Mittel-Aufreinigungseinheit aufgearbeitet und gewonnen werden können. Bei den in der Veresterungseinheit eingesetzten Mitteln handelt es sich insbesondere um einen C₁- bis C₄-Monoalkohol, einen sauren Katalysator und ein Schleppmittel. Bei den in der Umesterungseinheit eingesetzten Mitteln handelt es sich um einen basischen Katalysator und den C₁- bis C₄-Monoalkohol. Bei den in der Biodiesel-Aufreinigungseinheit verwendeten Mitteln handelt es sich insbesondere um Wasser.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel ist insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass die Einheit zur Aufreinigung von Mitteln sowohl mit der Umesterungseinheit als auch mit der Veresterungseinheit über Zuleitungen verbunden ist. Über die Zuleitungen können jeweils in der Veresterungseinheit und in der Umesterungseinheit gebildete Gemische, die mittels Phasentrennung von den jeweiligen Produktgemischen in diesen Einheiten abgetrennt werden und die in diesen Einheiten verwendeten Mittel und Nebenprodukte umfassen, direkt in die Mittel-Aufreinigungseinheit überführt und dort aufgereinigt und getrennt werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung erlaubt somit in vorteilhafter Weise die gleichzeitige Aufreinigung der zur Durchführung der Veresterungsreaktionen, der Umesterungsreaktionen und der Biodiesel-Aufreinigung verwendeten Mittel in der gleichen Aufreinigungseinheit. Dies führt dazu, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung aufgrund des erheblich geringeren apparativen Aufwandes wesentlich kostengünstiger ist als andere im Stand der Technik bekannte Vorrichtungen zur Herstellung von Biodiesel, da beispielsweise die Veresterungseinheit nicht mit einer zusätzlichen Aufreinigungseinheit kombiniert werden muss. Dadurch bedingt, verbilligt sich auch die Herstellung von Biodiesel in der erfindungsgemäßen Vorrichtung erheblich.

Die Mittel-Aufreinigungseinheit ist in vorteilhafter Weise zudem über Ableitungen mit der Veresterungseinheit verbunden, über die die in dieser Aufreinigungseinheit getrennten, aufgereinigten und

5 somit rückgewonnenen Mittel über Kreislaufsysteme insbesondere direkt in die Veresterungseinheit zurückgeführt und dort wieder verwendet werden können. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel weist somit erfindungsgemäß mehrere integrierte Kreisläufe auf, die insbesondere der Aufreinigung, Trennung und Wiedergewinnung der zur Durchführung der Veresterungsreaktionen, der Umesterungsreaktionen und/oder der Reaktionsgemisch-Aufreinigung verwendeten Mittel und deren Rückführung insbesondere in die Veresterungseinheit dienen, wobei die einzelnen Kreisläufe für die jeweils aufzureinigenden Mittel teilweise miteinander kombiniert und teilweise voneinander getrennt sind.

10 Diese in der erfindungsgemäßen Vorrichtung integrierten Kreisläufe erlauben eine fast vollständige Rückgewinnung der verwendeten Mittel und deren Wiederverwendung.

20 Die erfindungsgemäße Veresterungseinheit umfasst ein oder mehrere Veresterungsvorrichtungen. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Veresterungseinheit 2 bis 8 miteinander verbundene, nacheinander geschaltete Veresterungsvorrichtungen. Vorzugsweise sind die Veresterungsvorrichtungen als Kolonnen ausgeführt. Die erfindungsgemäßen Kolonnen können geeignete Kolonnen-Einbauten, wie verstellbare oder bewegliche Kolonnenböden, Füllkörper, Flüssigkeitsverteiler, geordnete Packungen aus Drahtgewebebändern, Rückflussverteiler und Tragroste aufweisen. Erfindungsgemäß

25 kann die letzte Kolonne als Extraktionskolonne ausgeführt sein.

30

Die separaten Veresterungsvorrichtungen sind durch Zuleitungen miteinander verbunden, wobei eine Veresterungsvorrichtung jeweils mit einer nachgeschalteten Veresterungsvorrichtung verbunden ist, so dass das in der Vorrichtung gebildete Reaktionsprodukt oder Veresterungsgemisch als leichte Phase in die nachgeschaltete Vorrichtung überführt werden kann. Erfindungsgemäß ist auch vorgesehen, dass die jeweiligen Zuleitungen, die die hintereinander geschalteten Veresterungen miteinander verbinden, jeweils Abzweigungen aufweisen, die eine Veresterungsvorrichtung mit einer vorgeschalteten Veresterungsvorrichtung verbinden. Diese Abzweigungen gestatten es somit in vorteilhafter Weise, einen Teilstrom des in einer Veresterungsvorrichtung gebildeten Produktgemisches in eine vorgeschaltete Veresterungsvorrichtung oder erneut in die gleiche Veresterungsvorrichtung zu überführen.

Erfindungsgemäß ist mindestens eine Veresterungsvorrichtung darüber hinaus über mindestens eine Zuleitung mit einer Mischvorrichtung verbunden, so dass ein in der Mischvorrichtung hergestelltes Gemisch aus C_1 - bis C_4 -Monoalkohol, saurem Katalysator und Schleppmittel in die entsprechende Veresterungsvorrichtung überführt werden kann.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zwei oder mehr oder jede der Veresterungsvorrichtungen über separate Zuleitungen mit einer oder mehreren Mischvorrichtungen verbunden sind. Die einzelnen Veresterungsvorrichtungen können dabei jeweils mit einer separaten Mischvorrichtung oder auch mit den gleichen Mischvorrich-

tungen verbunden sein. Auf diese Weise können unterschiedliche oder gleiche Gemische, die gleiche oder unterschiedliche Konzentrationen an Monoalkohol, saurem Katalysator und Schleppmittel enthalten, in die einzelnen Veresterungsvorrichtungen überführt werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Veresterungsvorrichtungen durch jeweils eine weitere Zuleitung miteinander verbunden sind. Über diese Zuleitungen kann zumindest ein Teilstrom der schweren Phase, die nach Veresterung in einer Kolonne mittels Phasentrennung erhalten wurde und die nicht-umgesetztes Glycerin, nicht-umgesetzten Monoalkohol und nicht-umgesetzten sauren Katalysator enthält, in die vorgeschaltete Kolonne überführt werden.

Diese weiteren Zuleitungen können erfindungsgemäß mit einer Trocknungsvorrichtung verbunden sein, in der Reaktionswasser und/oder Monoalkohol aus der schweren Phase entfernt werden. Diese Trocknungsvorrichtungen können beispielsweise als Destillationsvorrichtung zum Abdampfen eines Wasser-Monoalkohol-Gemisches oder als Molekularsieb beziehungsweise Mikrofilter zur Entfernung von Wasser als Permeat ausgeführt sein. Anschließend wird die von Wasser und/oder Monoalkohol befreite schwere Phase in die vorgeschaltete Kolonne überführt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist also in einer bevorzugten Ausführungsform so konzipiert, dass nach erfolgter Veresterung in einer Kolonne nicht-umgesetzter saurer Katalysator, nicht-umgesetztes

Glycerin und nicht-umgesetzter Monoalkohol jeweils in die vorgeschaltete Kolonne überführt werden, während das in der Kolonne gebildete Veresterungsgemisch jeweils in die nachgeschaltete Kolonne überführt wird. Saurer Katalysator, Glycerin und Monoalkohol werden also von Kolonne zu Kolonne in gegenläufiger Richtung zu den Veresterungsgemischen transportiert. Dies und die Tatsache, dass erfindungsgemäß mehrere Gemische aus saurem Katalysator, Glycerin und Monoalkohol getrennt in die Veresterungseinheit eingespeist werden können, wobei sich die Gemische bezüglich der Konzentrationen ihrer Komponenten unterscheiden können, aber auch gleich sein können, erlaubt es, in den einzelnen Kolonnen unterschiedliche Konzentrationen von saurem Katalysator, Glycerin und Monoalkohol einzusetzen. Dadurch ist es erfindungsgemäß möglich, mit abnehmendem Fettsäuregehalt den Monoalkohol-Gehalt zu erhöhen und die Konzentration des sauren Katalysators zu vermindern.

Erfindungsgemäß ist ferner vorgesehen, dass die letzte Veresterungsvorrichtung der Veresterungseinheit über mindestens eine Zuleitung mit der nachgeschalteten Umesterungseinheit verbunden ist, so dass die in der Veresterungseinheit, insbesondere der letzten Veresterungsvorrichtung gebildeten Produkte in die Umesterungseinheit überführt werden können.

In bevorzugter Ausführungsform umfasst die Umesterungseinheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung mindestens 2 und maximal 6 miteinander verbundene, nacheinander geschaltete Umesterungsvorrichtungen.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Umesterungsvorrichtungen ebenfalls als Kolonnen ausgeführt sind. Jede Umesterungskolonne ist über mindestens eine Zuleitung mit einer Mischvorrichtung verbunden, über die ein in der Mischvorrichtung gebildetes Gemisch aus basischem Katalysator und C₁-C₄-Monoalkohol in die Umesterungskolonne eingespeist werden kann. Jede Umesterungsvorrichtung ist darüber hinaus über jeweils eine separate Zuleitung mit der Mittel-Aufreinigungsvorrichtung, insbesondere einer Ansäuerungsvorrichtung der Mittel-Aufreinigungseinheit verbunden. Über diese Zuleitungen wird ein in jeder Umesterungsvorrichtung vom gebildeten Umesterungsgemisch mittels Phasentrennung abgetrenntes Gemisch, das insbesondere basischen Katalysator, Seifen, überschüssigen Monoalkohol und bei der Umesterung gebildetes Glycerin umfasst, direkt in die Ansäuerungsvorrichtung überführt, um diese Verbindungen aufzureinigen. Jede Umesterungsvorrichtung ist darüber hinaus über mindestens eine Zuleitung mit der Biodiesel-Aufreinigungseinheit, insbesondere einem Separator der Biodiesel-Aufreinigungseinheit verbunden, so dass das in einer Umesterungsvorrichtung gebildete Umesterungsgemisch nach teilweiser Aufreinigung mittels Phasentrennung in einen Separator der Biodiesel-Aufreinigungseinheit überführt und dort weiter aufgereinigt werden kann. Nach erfolgter Aufreinigung wird das aufgereinigte Umsetzungsgemisch über eine Zuleitung zwischen Separator und der nachgeschalteten Umesterungsvorrichtung in die nächste Umesterungsvorrichtung überführt und dort erneut umgeestert. Die einzelnen Umesterungsvorrichtungen der Umesterungseinheit sind somit über

- jeweils einen Separator der Biodiesel-Aufreinigungseinheit miteinander verbunden. Die letzte Umesterungsvorrichtung ist ebenfalls über eine Zuleitung mit einem Separator der Biodiesel-Aufreinigungseinheit verbunden. Dieser Separator weist jedoch eine Zuleitung zu einem nachgeschalteten Separator auf, so dass das in der letzten Umesterungsvorrichtung gebildete Umesterungsgemisch, bei dem es sich um Biodiesel handelt, weiter aufgereinigt werden kann. Das letzte Umesterungsgemisch wird in mindestens drei weiteren Separatoren aufgereinigt, die ihrerseits jeweils über eine Zuleitung mit den Separatoren der Biodiesel-Aufreinigungseinheit verbunden sind.
- 15 In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung umfasst die Biodiesel-Aufreinigungseinheit mindestens 4 miteinander verbundene, hintereinander geschaltete Separatoren sowie eine Trocknungsvorrichtung. In den Separatoren werden die Umesterungsgemische mittels Wasserdampf von basischem Katalysator, überschüssigem Monoalkohol, bei der Umesterung gebildetem Glycerin und Restmengen von saurem Katalysator getrennt. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Separatoren über mindestens eine Zuleitung mit der
- 25 Trocknungsvorrichtung der Biodiesel-Aufreinigungseinheit verbunden sind, über die das in den Separatoren von basischem Katalysator, Monoalkohol, saurem Katalysator und Schleppmittel abgetrennte Produktgemisch, d.h. Biodiesel, in die Trocknungsvorrichtung überführt werden. In der Trocknungsvorrichtung wird dann das gereinigte Endprodukt Biodiesel erhalten.
- 30

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Biodiesel-Aufreinigungseinheit über spezielle Zuleitungen mit der Mittel-Aufreinigungseinheit zur Aufreinigung der verwendeten Mittel verbunden ist. Dabei sind
5 insbesondere die Separatoren der Biodiesel-Aufreinigungseinheit über eine Zuleitung mit der Ansäuerungs-
vorrichtung der Mittel-Aufreinigungseinheit verbunden, um das in den Separatoren abgetrennte Gemisch aus basischem Katalysator, Monoal-
10 kohol, saurem Katalysator und Schleppmittel in die Mittel-Aufreinigungsvorrichtung, insbesondere die Ansäuerungs-
vorrichtung zu überführen.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Mittel-Aufreinigungseinheit, die zur Aufreinigung der in
15 der Veresterungseinheit, der Umesterungseinheit und der Biodiesel-Aufreinigungseinheit verwendeten Mit-
tel dient, mindestens eine Trocknungsvorrichtung, eine Ansäuerungs-
vorrichtung, einen weiteren Separ-
tor, eine Rektifikationsvorrichtung, eine Evapora-
20 tionsvorrichtung, eine Destillationsvorrichtung, eine Dünnschicht-Evaporationsvorrichtung und eine Filtrations-
vorrichtung aufweist.

In vorteilhafter Weise ist die Mittel-Aufreini-
gungseinheit nicht nur mit Umesterungseinheit und
25 der Biodiesel-Aufreinigungseinheit, sondern über
mindestens eine Zuleitung auch mit der Vereste-
rungseinheit verbunden. Die Veresterungseinheit ist
beispielsweise über eine Zuleitung mit der Trock-
nungsvorrichtung der Mittel-Aufreinigungseinheit
30 verbunden, die ihrerseits über eine weitere Zulei-
tung mit der Ansäuerungs-
vorrichtung der Mittel-Aufreinigungseinheit verbunden ist. Über diese Zu-

5 leitung werden die in der Veresterungseinheit mittels Phasentrennung erhaltenen wässrigen Gemische aus nicht-umgesetztem C₁- bis C₄-Monoalkohol, saurem Katalysator, Schleppmittel und bei der Veresterung gebildetem Wasser in die Trocknungsvorrichtung der Mittel-Aufreinigungseinheit überführt. In der Trocknungsvorrichtung werden die in der Veresterungseinheit erhaltenen Gemische weiter aufgereinigt, wobei insbesondere der C₁- bis C₄-Monoalkohol
10 von den übrigen Bestandteilen der Gemische abgetrennt und über eine Zuleitung aus der Trocknungsvorrichtung in die nachgeschaltete Rektifikationsvorrichtung der Mittel-Aufreinigungseinheit überführt wird. Die Trocknungseinheit ist ferner über
15 eine weitere Zuleitung mit der Ansäuerungseinheit verbunden, um einen kleinen Teilstrom des in der Trocknungsvorrichtung abgetrennten Gemisches aus saurem Katalysator, Schleppmittel und Restmengen des C₁- bis C₄-Monoalkohols in die Ansäuerungsvorrichtung zu überführen.
20

Die Ansäuerungsvorrichtung ist über spezielle Zuleitungen auch direkt mit den Umesterungseinheiten und den Separatoren der Biodiesel-Aufreinigungseinheit verbunden. Über diese Zuleitungen werden
25 die in den Umesterungsvorrichtungen mittels Phasentrennung gebildeten Gemische und die in den Separatoren bei der Biodiesel-Aufreinigung gebildeten Gemische, die jeweils Wasser, Glycerin, Seifen, basischen Katalysator und überschüssigen, bei der Umesterung nicht umgesetzten Monoalkohol umfassen, in
30 die Ansäuerungsvorrichtung eingespeist.

Die Ansäuerungsvorrichtung ist über eine Zuleitung mit dem Separator der Mittel-Aufreinigungseinheit verbunden. In diesem Separator erfolgt eine Abtrennung der aus dem Seifenanteil freigesetzten Fettsäuren, die über eine weitere Leitung aus dem Separator abgeführt und in die Veresterungseinheit rückgeführt werden. Der Separator ist ferner über eine Zuleitung mit der Rektifikationsvorrichtung der Mittel-Aufreinigungseinheit verbunden, um das im Separator gebildete wasserhaltige Gemisch aus saurem Katalysator, basischem Katalysator und erheblichen Mengen des Monoalkohols in die Rektifikationsvorrichtung zu überführen.

In der Rektifikationsvorrichtung erfolgt dann die Abtrennung des Monoalkohols aus dem wässrigen Gemisch und dessen weitere Aufreinigung. Über eine Ableitung, die die Rektifikationsvorrichtung mit der Veresterungseinheit verbindet, wird der in der Rektifikationsvorrichtung aufgereinigte Monoalkohol in die Veresterungseinheit rückgeführt und kann somit in der Veresterungseinheit erneut genutzt werden. Die Rektifikationsvorrichtung ist ferner über eine Zuleitung mit der Evaporationsvorrichtung verbunden, um das in der Rektifikationsvorrichtung vom Monoalkohol abgetrennte Gemisch, das Wasser, Restmengen von Glycerin sowie basischen und sauren Katalysator umfasst, zur weiteren Aufreinigung in die Evaporationsvorrichtung zu überführen.

In der Evaporationsvorrichtung wird Wasser aus dem überführten Gemisch abgetrennt. Die Evaporationsvorrichtung verfügt über eine Zuleitung zur Kondensation, über die das in der Evaporationsvorrichtung

abgetrennte Wasser wieder verflüssigt und von da aus in die Biodiesel-Aufreinigungseinheit überführt und dort, insbesondere in den Separatoren der Biodiesel-Aufreinigungseinheit, erneut genutzt werden
5 kann. Die Evaporationsvorrichtung ist über eine weitere Zuleitung mit der Trocknungsvorrichtung der Mittel-Aufreinigungseinheit und der Destillationsvorrichtung verbunden, um das von Wasser befreite Rohglycerin, das Gemisch von Glycerin und saurem
10 Katalysator und basischem Katalysator und Restmengen von Wasser weiter aufzureinigen.

In der Destillationsvorrichtung erfolgt eine Trennung des Glycerins von allen Begleitsubstanzen, hauptsächlich dem aus basischen und sauren Katalysatoren gebildeten Salz. Über eine Zuleitung, die
15 die Destillationsvorrichtung mit einer Dünnschicht-Evaporationsvorrichtung verbindet, wird das Salz abgeleitet und das noch begleitende Glycerin zurückgewonnen. Das Salz ist als Düngemittel geeignet. Die Destillationsvorrichtung ist über eine
20 Leitung mit einer Filtrationsvorrichtung verbunden. Über eine die Destillationsvorrichtung mit der Filtrationsvorrichtung verbindende Leitung wird das Reinglycerin in die Filtrationsvorrichtung über-
25 führt und dort weiter zu Pharmaglycerin für höchste Ansprüche aufgereinigt

Die vorliegende Erfindung wird durch die folgenden Figuren 1 und 2 näher erläutert.

Figur 1 zeigt in schematischer Form eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel, umfassend eine Veresterungseinheit, eine Um-
30

esterungseinheit, eine Aufreinigungseinheit zur Aufreinigung des hergestellten Biodiesels und eine Aufreinigungseinheit zur Aufreinigung und Trennung der in der Veresterungseinheit und der Umesterungseinheit verwendeten Mittel.

Figur 2 zeigt in schematischer Form eine weitere Ausführungsform der Veresterungseinheit.

Die Figur 1 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 zur Herstellung von Biodiesel aus freie Fettsäuren enthaltenden, öl- und/oder fetthaltigen Ausgangsgemischen, die eine integrierte Biodiesel-Aufreinigungseinheit 6 und eine integrierte Mittel-Aufreinigungseinheit 8 aufweist. Die Vorrichtung 1 umfasst eine Veresterungseinheit 3 mit zwei als Kolonnen ausgeführten Veresterungsvorrichtungen 9 und 11. Die Veresterungskolonne 9 ist über eine Leitung 37 mit einer Mischvorrichtung 35 verbunden. Aus der Kolonne 9 führt eine Leitung 41 in die Veresterungskolonne (oder Extraktionskolonne) 11, so dass das in der Kolonne 9 erzeugte Veresterungsgemisch in die Kolonne 11 überführt werden kann. Die Veresterungskolonne 11 ist darüber hinaus mit einer Leitung 43 mit einem Vorratsgefäß 45 für den C₁-C₄-Monoalkohol verbunden, so dass frischer Monoalkohol in die Kolonne 11 eingespeist werden kann. Aus der Kolonne 11 führt die Leitung 47 in die Umesterungseinheit 5 mit zwei als Kolonnen ausgeführten Umesterungsvorrichtungen 15 und 17.

Die Umesterungskolonne 15 und die Umesterungskolonne 17 sind jeweils über die Leitungen 65 und 67 mit der Mischvorrichtung 63 verbunden, die ihrerseits

über die Leitungen 59 mit dem Vorratsbehälter 45 für den Monoalkohol und über die Leitung 61 mit dem Vorratsbehälter 53 für den basischen Katalysator verbunden sind. Die Kolonne 15 ist darüber hinaus
 5 über die Leitung 57 mit dem Vorratsbehälter 51 für ein zweites Ausgangsgemisch mit einem äußerst geringen Anteil freier Fettsäuren verbunden. Das in der Kolonne 15 erzeugte Umesterungsgemisch wird einer Phasentrennung unterworfen, wobei das vom Umesterungsgemisch abgetrennte wässrige Gemisch, das
 10 vorwiegend nicht umgesetzten Monoalkohol, Glycerin und den basischen Katalysator umfasst, über die Leitung 105 aus der Kolonne 15 in die Ansäuerungs-
 vorrichtung 103 überführt wird. Das in der Umesterungskolonne 15 erzeugte, mittels Phasentrennung
 15 vorgereinigte Umesterungsgemisch wird aus der Kolonne 15 über die Leitung 69 in den Separator 71 transportiert und dort weiter aufgereinigt.

Der Separator 71 erhält über die Leitung 93 Wasser
 20 aus dem Wasservorratsbehälter 55. Im Separator 71 wird das in der Kolonne 15 erzeugte Umesterungsgemisch weiter von dispergiertem beziehungsweise gelöstem Glycerin sowie basischem Katalysator und C₁-C₄-Monoalkohol befreit, das über die Leitung 107 in
 25 die Ansäuerungs-
 vorrichtung 103 überführt wird. Das im Separator 71 aufgereinigte Umsetzungsgemisch aus der Kolonne 15 wird über die Leitung 79 in die zweite Umesterungskolonne 17 überführt.

Auch in der Umesterungskolonne 17 erfolgt eine Phasentrennung, wobei das mittels Phasentrennung abgetrennte Gemisch aus vorwiegend Glycerin, basischem Katalysator und Monoalkohol über die Leitung 106 in
 30

die Leitung 105 und dann in die Ansäuerungs-
vorrichtung 103 transportiert wird. Das in der Umeste-
rungskolonne 17 gebildete, mittels Phasentrennung
vorgereinigte Umesterungsgemisch wird über die Lei-
5 tung 81 in den Separator 73 transportiert und dort
weiter vorgereinigt, wobei das im Separator 73 ab-
getrennte wässrige Gemisch aus Glycerin, saurem und
basischen Katalysator sowie nicht umgesetztem C₁-
C₄-Monoalkohol enthaltende Gemisch aus dem Separa-
10 tor 73 über die Leitung 109 in die Leitung 105 und
von da aus in die Ansäuerungs-
vorrichtung 103 transportiert wird. Der Separator 73 wird über die Zu-
leitung 91, die mit der Separatorvorrichtung 75
verbunden ist, mit Wasser beziehungsweise konden-
15 siertem Wasserdampf versorgt. Das im Separator 73
gereinigte Umesterungsgemisch aus der Umeste-
rungskolonne 17 wird über die Leitung 83 in den Se-
parator 75 überführt, der seinerseits über die Lei-
tung 89, die mit dem Separator 77 verbunden ist,
20 mit Wasser beziehungsweise kondensiertem Wasser-
dampf versorgt wird. Das im Separator 75 weiter
aufgereinigte Umsetzungsgemisch wird dann über die
Leitung 85 in den Separator 77 überführt. Der Sepa-
rator 77 wird über die Leitung 87 mit Wasser aus
25 dem Wasservorratsbehälter 55 versorgt.

Nach erfolgter Aufreinigung des Umesterungsgemi-
sches wird dieses über die Leitung 157 in die
Trocknungsvorrichtung 159 überführt. Das während
der Trocknung des gereinigten Umesterungsgemisches
30 in der Trocknungsvorrichtung 159 gebildete Wasser
wird über die Leitung 161 abgeführt, während die
gebildeten Endprodukte über die aufgereinigten und
aufkonzentrierten Endprodukte aus der Trocknungs-

vorrichtung 159 über die Leitung 163 in den Vorratsbehälter 165 für das gewünschte Endprodukt transportiert wird.

Das in der Ansäuerungs-
 5 vorrichtung 103 transportier-
 te Gemisch aus Glycerin und den sauren und basi-
 schen Katalysatoren sowie nicht umgesetztem C_1 - C_4 -
 Monoalkohol wird über die Leitung 101 in den Sepa-
 10 rator 113 überführt, wobei im Separator 113 eine
 Abtrennung der Fettsäuren erfolgt, wobei die abge-
 trennte Fettsäure über die Leitung 155 in die Lei-
 tung 21 überführt und von da aus in die Vereste-
 rungseinheit 3 rückgeführt wird. Das nach der Ab-
 15 trennung der Fettsäure in den Separator 113 gebil-
 dete Gemisch wird über die Leitung 115 in eine Rek-
 tifikationsvorrichtung 117 überführt. Die Rektifi-
 kationsvorrichtung 117 erhält andererseits über die
 Leitung 125 in der Trocknungsvorrichtung 97 gebil-
 deten nicht umgesetzten Monoalkohol aus der Ve-
 20 resterungseinheit 3. In der Rektifikationsvorrich-
 tung 117 erfolgt eine weitere Aufreinigung des C_1 -
 C_4 -Monoalkohols. Das in der Rektifikationsvorrich-
 tung 117 nach Abtrennung des Monoalkohols gebildete
 Gemisch wird über die Leitung 119 in die Evaporati-
 25 onsvorrichtung 121 transportiert, in der das in den
 Separatoren eingespeiste Wasser aus dem wasserhal-
 tigen Gemisch abgedampft, kondensiert und rückge-
 wonnen und über die Leitung 123 zurück in den Was-
 serbehälter 55 transportiert wird. Die restlichen
 Bestandteile des in der Evaporationsvorrichtung 121
 30 erzeugten Gemisches werden über die Leitung 129 in
 die Trocknungsanlage 131 und von da aus über die
 Leitung 193 in die Destillationsvorrichtung 135
 transportiert. In der Destillationsanlage wird das

- Glycerin vom aus saurem und basischem Katalysator entstandenen Salz abgetrennt und über die Leitung 145 zur weiteren Aufreinigung in die Filtriervorrichtung 147 überführt. Vom mittels Filtration gereinigten Glycerin wird ein kleiner Teilstrom über die Leitung 149 in ein Glycerin-Vorratsgefäß 151 und von da aus über die Leitung 153 zu der Leitung 99 geführt, die die Trocknungsvorrichtung 97 mit dem Schleppmittelvorratsgefäß, d.h. Glycerin-Vorratsbehälter 23 verbindet, das heißt das in der Filtriervorrichtung gereinigte Glycerin wird somit in das Schleppmittelvorratsgefäß 23 überführt, aus dem das in der Veresterungseinheit 3 benötigte Schleppmittel Glycerin entnommen wird.
- Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel ist somit so konzipiert, dass der in der Veresterungseinheit nicht umgesetzte C_1 - bis C_4 -Monoalkohol aus den eigentlichen Veresterungsvorrichtungen abgeleitet und in Aufreinigungsvorrichtungen überführt wird, in die auch der in der Umesterungseinheit abgeleitete, nicht umgesetzte Monoalkohol eingespeist wird. Der nicht umgesetzte Monoalkohol wird in der Aufreinigungsvorrichtung aufgereinigt und dann in den Monoalkohol-Vorratsbehälter überführt, aus dem der zur sauren Veresterung in der Veresterungseinheit benötigte Monoalkohol entnommen wird. Das in der Veresterungseinheit benötigte Schleppmittel wird in die gleichen Aufreinigungsvorrichtungen wie der nicht umgesetzte Monoalkohol eingespeist und kann von dort aus in den Schleppmittelvorratsbehälter, also den Glycerin-Vorratsbehälter, überführt werden und steht damit zur sauren Veresterung in der Vereste-

5 rungseinheit zur Verfügung. Auch die für die saure und basische Katalyse verwendeten Katalysatoren werden, sofern sie nicht über interne Kreisläufe in vorgeschaltete Kolonnen rücküberführt werden, über die gleichen Aufreinigungsvorrichtungen geführt, wobei der saure Katalysator und der basische Katalysator nach Aufreinigung zur Umsetzung gebracht werden, wobei ein als Düngemittel geeignetes Salz erhalten wird.

10 Die Figur 2 zeigt eine weitere Ausführungsform der Veresterungseinheit 3 mit den als Kolonnen ausgeführten Veresterungsvorrichtungen 9, 171, 173, 175, 177 und 11. Das zu veresternde Ausgangsgemisch wird dabei in die erste Veresterungskolonne 9 eingespeist. Nach Beendigung der Veresterung in Kolonne 15 9 wird das in Kolonne 9 erzeugte Veresterungsgemisch als leichte Phase über die Leitung 185 zur weiteren Veresterung in die nachgeschaltete Veresterungskolonne 171 überführt. Das nach Veresterung in Kolonne 171 gebildete Veresterungsgemisch wird dann zur weiteren Veresterung über die 20 Leitung 187 in die nachgeschaltete Veresterungskolonne 173 und von da aus über die Leitung 189 in die nachgeschaltete Kolonne 175, dann über die Leitung 191 in die nachgeschaltete Kolonne 177 und schließlich über die Leitung 201 in die letzte Kolonne 11 überführt.

30 Die Veresterungseinheit 3 wird erfindungsgemäß aus den zwei getrennten Mischvorrichtungen 199 und 35 mit Gemischen der zur Veresterung benötigten Mittel, d.h. saurem Katalysator, Monoalkohol und Glycerin, versorgt. Die Mischvorrichtungen 199 und 35

sind ihrerseits über die Leitung 29 mit dem Glycerin-Vorratsbehälter 23, über die Leitung 31 mit dem Vorratsbehälter 25 für den sauren Katalysator und über die Leitung 33 mit dem Vorratsbehälter 27 für
5 gebrauchten Monoalkohol verbunden und werden aus den Vorratsbehältern 23, 25 und 27 mit Glycerin, saurem Katalysator und Monoalkohol versorgt. Die in den Mischvorrichtungen 199 und 35 erzeugten Gemische, enthaltend sauren Katalysator, Glycerin und
10 Monoalkohol, können sich bezüglich der Konzentrationen der Bestandteile unterscheiden.

Über die Leitung 169, die die Mischvorrichtung 199 mit der Kolonne 173 verbindet, wird das sauren Katalysator, Glycerin und Monoalkohol enthaltende Ge-
15 misch dann direkt in die Kolonne 173 eingespeist. Nach erfolgter Veresterung in Kolonne 173 wird die schwere Phase, die nicht-umgesetztes Glycerin, nicht-umgesetzten Monoalkohol und nicht-umgesetzten sauren Katalysator enthält, mittels Phasentrennung
20 von der das Veresterungsgemisch enthaltenden leichten Phase abgetrennt und über die Leitung 181 in die vorgeschaltete Kolonne 171 überführt. Auch in Kolonne 171 wird nach Veresterung eine Phasentrennung durchgeführt, wobei die erhaltene schwere Phase
25 über die Leitung 183 in die erste Kolonne 9 überführt wird.

Das in der Mischvorrichtung 35 erzeugte Gemisch aus Glycerin, Katalysator und Monoalkohol wird über die Leitung 37 direkt in die Veresterungskolonne 177
30 eingespeist. Auch hier erfolgt nach der Veresterung eine Phasentrennung, wobei ein Teilstrom der erzeugten schweren Phase über die Leitung 193 in die

vorgeschaltete Kolonne 175 überführt und ein Teilstrom der schweren Phase in die Kolonne 177 zurückgeführt wird. Die in Kolonne 175 nach erfolgter Veresterung und Phasentrennung erhaltene schwere Phase wird dann über die Leitung 195 in eine Trocknungsvorrichtung 197 zur Abtrennung des Reaktionswassers transportiert und von da aus über die Leitung 201 in die Kolonne 175 zurückgeführt, wobei ein Teilstrom der gereinigten schweren Phase in die vorgeschaltete Kolonne 173 überführt wird.

Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass nach erfolgter Veresterung in einer Kolonne nicht-umgesetzter saurer Katalysator, nicht-umgesetztes Glycerin und nicht-umgesetzter Monoalkohol jeweils in die vorgeschaltete Kolonne überführt werden, während das in der Kolonne gebildete Veresterungsgemisch jeweils in die nachgeschaltete Kolonne überführt wird. Saurer Katalysator, Glycerin und Monoalkohol werden also von Kolonne zu Kolonne in gegenläufiger Richtung zu den Veresterungsgemischen transportiert. Dies und die Tatsache, dass erfindungsgemäß zwei Gemische aus saurem Katalysator, Glycerin und Monoalkohol getrennt in die Veresterungseinheit eingespeist werden, wobei sich die Gemische bezüglich der Konzentrationen ihrer Komponenten unterscheiden können, aber auch gleich sein können, erlaubt es, in den einzelnen Kolonnen unterschiedliche Konzentrationen von saurem Katalysator, Glycerin und Monoalkohol einzusetzen. Dadurch ist es erfindungsgemäß möglich, mit abnehmendem Fettsäuregehalt den Monoalkohol-Gehalt zu erhöhen und die Konzentration des sauren Katalysators zu vermindern.

5 **Ansprüche**

1. Druckloses Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Alkylestern höherer Fettsäuren, insbesondere Biodiesel, aus freie Fettsäuren enthaltenden Fettsäuretriglycerid-Ausgangsgemischen mit integrierter Kombination von saurer Veresterung und basischer Umesterung, umfassend

15 a) Ein- oder mehrmaliges Verestern der freien Fettsäuren in jeweils separaten, miteinander verbundenen Veresterungsvorrichtungen mit einem C₁- bis C₄-Monoalkohol in Gegenwart eines sauren Katalysators und Glycerin als Schleppmittel bei 60°C bis 65°C unter Bildung eines Veresterungsgemisches,

20 b) teilweises Aufreinigen des Veresterungsgemisches durch teilweises Abtrennen von Schleppmittel, saurem Katalysator und nicht-umgesetztem C₁- bis C₄-Monoalkohol,

25 c) mindestens zweimaliges Umestern der Fettsäuretriglyceride in jeweils separaten, miteinander verbundenen Umesterungsvorrichtungen mit einem C₁- bis C₄-Monoalkohol in Gegenwart eines basischen Katalysators bei 60°C bis 65°C unter Bildung eines Umesterungsgemisches, und

- d) Aufreinigen des Umesterungsgemisches durch Abtrennen von basischem Katalysator, nicht-umgesetztem C₁- bis C₄-Monoalkohol und des bei der Umesterung gebildeten Glycerins durch Behandlung mit Wasser in mindestens einem Separator und anschließendes Trocknen,

dadurch gekennzeichnet, dass der zum Verestern eingesetzte C₁- bis C₄-Monoalkohol, das zum Verestern eingesetzte Schleppmittel und das zur Aufreinigung des Umesterungsgemisches eingesetzte Wasser zumindest teilweise aus den Veresterungs- und Umesterungsgemischen gewonnen werden und dass die sauren und basischen Katalysatoren nach Aufreinigung aus den Veresterungs- und Umesterungsgemischen unter Bildung eines als Düngemittel geeigneten Salzes umgesetzt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die freie Fettsäuren enthaltende Fettsäuretriglycerid-Ausgangsgemische gebrauchte oder ungebrauchte, ungereinigte oder gereinigte pflanzliche, tierische oder technische Öle oder Fette oder Gemische davon mit einem Anteil freier Fettsäuren von 0% bis 100% sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die ungereinigten Öle oder Fette ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Soapstock, Brown Grease, Yellow Grease, technischem Talg, technischem Schmalz, Frittierölen, Tierfettabfällen, Speisetalg, ungereinigten pflanzlichen Rohölen, ungereinigten tierischen Fetten oder Gemischen davon.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die ungereinigten pflanzlichen Rohöle ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Rüböl, Sojaöl, Sonnenblumenöl, Palmöl, Maiskeimöl, Baumwollsaatöl, Palmkernfett und Kokosfett.
5
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die ungereinigten Ausgangsgemische vor Veresterung gereinigt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die gereinigten Öle oder Fette Raffinate oder Halbraffinate pflanzlicher oder tierischer Öle oder Fette sind.
10
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die pflanzlichen oder tierischen Öle oder Fette ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Rüböl, Sojaöl, Sonnenblumenöl, Palmöl, Maiskeimöl, Baumwollsaatöl, Palmkernfett und Kokosfett.
15
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Veresterungsvorrichtung eine Kolonne mit oder ohne Füllkörper oder Packungen aus Drahtgewebe ist.
20
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zur Veresterung eingesetzte C₁- bis C₄-Monoalkohol Methanol oder Ethanol ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zur Veresterung eingesetzte saure Katalysator Schwefelsäure oder p-Toluolsulfonsäure ist.
25

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die freien Fettsäuren in Abhängigkeit vom Fettsäuregehalt der Ausgangsgemische 2- bis 8-mal in miteinander verbundenen, hintereinander geschalteten separaten Kolonnen verestert werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das erhaltene Veresterungsgemisch aus einer Kolonne in die der Kolonne nachgeschaltete Kolonne überführt und dort nach Zugabe eines Schleppmittel, Monoalkohol und sauren Katalysator umfassenden Gemisches erneut verestert wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei den separaten Kolonnen unterschiedliche Mengen des sauren Katalysators zugegeben werden.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei ein Teil des Veresterungsgemisches aus einer Kolonne in die der Kolonne nachgeschaltete Kolonne überführt und ein Teil davon in die der Kolonne vorgeschaltete Kolonne rückgeführt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei das Veresterungsgemisch vor Überführung in die nachgeschaltete Kolonne teilweise gereinigt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei ein Gemisch enthaltend Schleppmittel, sauren Katalysator, nicht-umgesetzten Monoalkohol und während der Veresterung gebildetes Wasser als schwere Phase mittels Phasentrennung vom Veresterungsgemisch abgetrennt und in Vorrichtungen zur Aufreinigung und

Trennung der Bestandteile des Gemisches überführt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die schwere Phase zur Abtrennung von Monoalkohol und Wasser in
5 eine Trocknungsvorrichtung überführt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei in der Trocknungsvorrichtung Wasser in Molekularsieben oder Mikrofiltern abgetrennt oder ein Monoalkohol-Wasser-Gemisch mittels Destillation abgedampft
10 wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, wobei der Monoalkohol und/oder das Monoalkohol-Wasser-Gemisch aus der Trocknungsvorrichtung zur weiteren Aufreinigung in eine Rektifikationsvorrichtung überführt
15 wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, wobei der in der Rektifikationsvorrichtung aufgereinigte Monoalkohol, der einen zur Verwendung in Kolonnen mit einem höheren Fettsäuregehalt geeigneten Wasser-Anteil von etwa 1% bis 2% aufweist, aus der Rektifikationsvorrichtung in die Veresterungsvorrichtung rückgeführt wird.
20

21. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, wobei ein Teilstrom des in der Trocknungsvorrichtung nach der Abtrennung von Monoalkohol und Wasser erhaltenen Gemisches enthaltend Schleppmittel und sauren Katalysator aus der Trocknungsvorrichtung in die Veresterungsvorrichtung rückgeführt und ein Teilstrom davon in eine Ansäuerungsvorrichtung überführt
25
30 wird.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das nach der Veresterung in der letzten Veresterungskolonne erhaltene Veresterungsgemisch in eine Extraktionskolonne überführt und dort unter Verwendung von reinem Monoalkohol oder einem Monoalkohol-Schleppmittel-Gemisch zur Entfernung von nicht-veresterten freien Fettsäuren extrahiert wird.
23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach der letzten Veresterung in der letzten Veresterungskolonne oder nach Extraktion in der Extraktionskolonne ein Veresterungsgemisch erhalten wird, bei dem nahezu alle freien Fettsäuren verestert sind und das eine Säurezahl von etwa 1 bis 0,5 und einen Wassergehalt von maximal 0,5% aufweist.
24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei das Veresterungsgemisch zur basischen Umesterung der Fettsäureglyceride in eine mit der letzten Veresterungskolonne oder der Extraktionskolonne verbundene Umesterungsvorrichtung überführt wird.
25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei dem Veresterungsgemisch vor Umesterung ein oder mehrere Fettsäuretriglycerid-Ausgangsgemische mit einem Anteil freier Fettsäuren von 0% bis 1% zugegeben werden.
26. Verfahren nach Anspruch 25, wobei das dem Veresterungsgemisch zugegebene Ausgangsgemisch ein Raffinat oder Halbraffinat von Rüböl, Sojaöl, Sonnenblumenöl, Palmöl, Maiskeimöl, Baumwollsaatöl,

Palmkernfett und Kokosfett oder ein Gemisch davon ist.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 26, wobei das umzuesternde Veresterungsgemisch und das
5 gegebenenfalls zugegebene Ausgangsgemisch in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Gesamtgemisches 2- bis 6-mal in miteinander verbundenen, hintereinander geschalteten separaten Umesterungsvorrichtungen umgeestert werden.

10 28. Verfahren nach Anspruch 27, wobei die Umesterungsvorrichtungen Kolonnen mit oder ohne Füllkörper oder Packungen aus Drahtgewebe sind.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 28, wobei der zur Umesterung verwendete C_1 - bis C_4 -
15 Monoalkohol Methanol oder Ethanol ist.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 29, wobei der zur Umesterung verwendete basische Katalysator Kaliumhydroxid, NaOH oder Na-Metylat ist.

31. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 30, wobei das in einer Kolonne erhaltene Umesterungsgemisch vorgereinigt wird.
20

32. Verfahren nach Anspruch 31, wobei mittels Phasentrennung ein Gemisch aus Monoalkohol, basischem Katalysator und Glycerin als schwere Phase vom Umesterungsgemisch abgetrennt und zur weiteren Aufreinigung und Trennung der Bestandteile in die Ansäuerungsvorrichtung und danach in einen nachgeschalteten Separator überführt wird.
25

33. Verfahren nach Anspruch 21 oder 32, wobei in der Ansäuerungsvorrichtung die vom Umesterungsgemisch abgetrennte schwere Phase mit dem Teilstrom des nach der Veresterung abgetrennten und in die
- 5 Ansäuerungsvorrichtung überführten Gemisches aus Schleppmittel und saurem Katalysator gemischt wird, wobei der Teilstrom so bemessen ist, dass der basische Katalysator der schweren Phase neutralisiert und die schwere Phase ausreichend angesäuert wird.
- 10 34. Verfahren nach einem der Ansprüche 31 bis 33, wobei das vorgereinigte Umesterungsgemisch zur weiteren Aufreinigung in einen Separator überführt wird.
- 15 35. Verfahren nach Anspruch 34, wobei im Separator ein Monoalkohol, Seife, basischen Katalysator und Glycerin umfassendes wasserhaltiges Gemisch unter Verwendung von Wasser vom Umesterungsgemisch abgetrennt wird.
- 20 36. Verfahren nach Anspruch 35, wobei pH-konditioniertes oder gepuffertes Wasser, insbesondere Kondenswasser oder enthärtetes Wasser eingesetzt wird.
- 25 37. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 36, wobei das gereinigte Umesterungsgemisch aus dem Separator zur weiteren Umesterung in eine nachgeschaltete Umesterungskolonie überführt wird.
38. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 36, wobei das gereinigte Umesterungsgemisch der letzten Umesterungskolonie aus dem Separator zur weiteren

Aufreinigung in mindestens einen weiteren Separator überführt wird.

39. Verfahren nach Anspruch 38, wobei das Umesterungsgemisch aus dem mindestens einen weiteren Separator in eine Trocknungsvorrichtung überführt, getrocknet und aufgereinigt wird.

40. Verfahren nach Anspruch 39, wobei nach Aufreinigung in der Trocknungsvorrichtung ein Biodiesel entsprechendes Produktgemisch umfassend im Wesentlichen C₁- bis C₄-Alkylester der freien Fettsäuren und C₁- bis C₄-Alkylester der höheren Fettsäuren aus den Fettsäuretriglyceriden erhalten wird.

41. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 36 oder 38, wobei das im Separator vom Umesterungsgemisch abgetrennte wasserhaltige Gemisch von Monoalkohol, Seife, basischem Katalysator und Glycerin in die Ansäuerungsvorrichtung und dann in einen nachgeschalteten Separator überführt wird.

42. Verfahren nach Anspruch 32 oder 41, wobei in dem der Ansäuerungsvorrichtung nachgeschalteten Separator die während der Umesterung gebildeten Fettsäuren teilweise von den übrigen Bestandteilen des wasserhaltigen Gemisches abgetrennt und in die Veresterungsvorrichtung rückgeführt werden.

43. Verfahren nach Anspruch 42, wobei die übrigen Bestandteile des wasserhaltigen Gemisches aus dem Separator in die Rektifizierungsvorrichtung überführt werden.

44. Verfahren nach Anspruch 43, wobei in der Rektifizierungsvorrichtung der Monoalkohol von den übrigen Bestandteilen des wasserhaltigen Gemisches abgetrennt und in gereinigter Form, wobei der Anteil
5 von Wasser etwa 1% bis 2%, vorzugsweise 0,1% beträgt, in die Veresterungsvorrichtung rückgeführt wird.

45. Verfahren nach Anspruch 44, wobei die übrigen Bestandteile des wasserhaltigen Gemisches aus der
10 Rektifizierungsvorrichtung in eine Evaporationsvorrichtung überführt werden.

46. Verfahren nach Anspruch 45, wobei in der Evaporationsvorrichtung Wasser abgetrennt und in die Separatoren rückgeführt wird.

15 47. Verfahren nach Anspruch 46, wobei das Glycerin, sauren Katalysator und basischen Katalysator umfassende Gemisch zur weiteren Aufreinigung in eine Destillationsvorrichtung überführt wird.

20 48. Verfahren nach Anspruch 47, wobei in der Destillationsvorrichtung das Glycerin von den Katalysatoren abgetrennt und nach Filtration mittels einer Filtriervorrichtung gereinigt und teilweise in die Veresterungsvorrichtung rückgeführt wird.

25 49. Verfahren nach Anspruch 47, wobei saurer und basischer Katalysator aus der Destillationsvorrichtung in eine Dünnschicht-Evaporationsvorrichtung überführt werden und eine Umsetzung zwischen saurem und basischem Katalysator unter Bildung eines als Düngemittel geeigneten Salzes erfolgt.

50. Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel aus freie Fettsäuren enthaltenden Fettsäuretriglycerid-Ausgangsgemischen, umfassend in integrierter Kombination eine Veresterungseinheit (3) mit mindestens
5 zwei Veresterungsvorrichtungen (9,171,173,175, 177,11) zur Veresterung der freien Fettsäuren, eine mit der Veresterungseinheit verbundene nachgeschaltete Umesterungseinheit (5) mit mindestens zwei Umesterungsvorrichtungen (15,17) zur Umesterung der
10 Fettsäuretriglyceride, eine mit der Umesterungseinheit (5) verbundene nachgeschaltete Aufreinigungseinheit (6) zur Aufreinigung des hergestellten Biodiesels und eine mit der Umesterungseinheit (5) verbundene nachgeschaltete Aufreinigungseinheit (8)
15 zur Aufreinigung und Trennung der in der Veresterungseinheit (3) und/oder Umesterungseinheit (5) und/oder Aufreinigungseinheit (6) verwendeten Mittel, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufreinigungseinheit (8) durch mindestens eine Zuleitung
20 (101) und mindestens eine Ableitung (127,153,155) mit der Veresterungseinheit (3) verbunden ist, so dass in der Aufreinigungseinheit (8) die in der Veresterungseinheit (3) und der Umesterungseinheit (5) verwendeten Mittel gleichzeitig aufgereinigt
25 und getrennt und die zur Veresterung eingesetzten Mittel im Kreislauf in die Veresterungseinheit (3) rückgeführt werden.

51. Vorrichtung nach Anspruch 50, wobei es sich bei
30 Mitteln um einen C₁- bis C₄-Monoalkohol, einen sauren Katalysator und ein Schleppmittel handelt, bei den in der Umesterungseinheit (5) eingesetzten Mitteln um einen basischen Katalysator und den C₁- bis

C₄-Monoalkohol und bei den in der Aufreinigungseinheit (6) verwendeten Mitteln um Wasser.

5 52. Vorrichtung nach Anspruch 50 oder 51, wobei die Veresterungseinheit (3) 2 bis 8 miteinander verbundene, nacheinander geschaltete Veresterungsvorrichtungen (9,171,173,175,179,11) aufweist.

53. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 52, wobei die Veresterungsvorrichtungen (9,171,173,175,179,11) als Kolonnen ausgeführt sind.

10 54. Vorrichtung nach Anspruch 53, wobei die letzte Kolonne (11) als Extraktionskolonne ausgeführt ist.

15 55. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 54, wobei die Veresterungsvorrichtungen (9,171,173,175,179,11) durch jeweils eine Zuleitung (41,185,187,189,191,201) zur Überführung der in einer Vorrichtung gebildeten Produkte als leichte Phase in die nachgeschaltete Vorrichtung verbunden sind.

20 56. Vorrichtung nach Anspruch 55, wobei die Zuleitungen (41,185,187,189,191,201) eine Abzweigung (39) zur Rückführung eines Teilstroms der in den Vorrichtungen (9,171,173,175,179,11) gebildeten Produkte in die gleiche oder in eine vorgeschaltete Veresterungsvorrichtung aufweisen.

25 57. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 56, wobei mindestens eine Veresterungsvorrichtung (9,171,173,175,179,11) über eine Zuleitung (37,169) mit einer Mischvorrichtung (35,199) zur Überführung eines in der Mischvorrichtung (35,199) erzeugten

Gemisches aus C₁- bis C₄-Monoalkohol, saurem Katalysator und Schleppmittels in die Veresterungsvorrichtung (9,171,173,175,179,11) verbunden ist.

58. Vorrichtung nach Anspruch 57, wobei zwei oder
5 mehr oder jede der Veresterungsvorrichtungen
(9,171,173,175,179,11) über separate Zuleitungen
(37,169) mit jeweils einer separaten Mischvorrichtung
(35,199) zur Überführung von Gemischen mit
gleichen oder unterschiedlichen Konzentrationen an
10 C₁- bis C₄-Monoalkohol, saurem Katalysator und
Schleppmittel in die Veresterungsvorrichtungen
(9,171, 173,175,179,11) verbunden sind.

59. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 58,
wobei die Veresterungsvorrichtungen (171,173,175,
15 179,11) durch jeweils eine Zuleitung (181,183,
193,195) zur Überführung zumindest eines Teilstroms
der nach Veresterung in einer Veresterungsvorrichtung
mittels Phasentrennung erhaltenen schweren
Phase, enthaltend nicht-umgesetztes Glycerin,
20 nicht-umgesetzten Monoalkohol und nicht-umgesetzten
sauren Katalysator, in die vorgeschaltete Veresterungsvorrichtung
(9,171,173,175,179) verbunden
sind.

60. Vorrichtung nach Anspruch 59, wobei die Zulei-
25 tung (181,183,193,195) über eine Trocknungsvorrichtung
(197) zur Entfernung von Wasser und/oder Monoalkohol
aus der schweren Phase führt.

61. Vorrichtung nach Anspruch 60, wobei die Trock-
nungsvorrichtung (197) als Destillationsvorrichtung
30 zum Abdampfen eines Wasser-Monoalkohol-Gemisches

oder als Molekularsieb oder Mikrofilter zur Entfernung von Wasser als Permeat ausgeführt ist.

5 62. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 59 bis 61, wobei die Zuleitung (181,183,193,195) eine Abzweigung (203,205) zur Überführung eines Teilstroms der schweren Phase in die gleiche Veresterungsvorrichtung (171,173, 175,179,11) aufweist.

10 63. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 62, wobei die Veresterungsvorrichtungen (9,171,173, 175,179,11) über mindestens eine Zuleitung (47) mit der Umesterungseinheit (5) zur Überführung der in den Veresterungsvorrichtungen (9,11) gebildeten Produkte in die Umesterungseinheit (5) verbunden sind.

15 64. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 63, wobei die Umesterungseinheit (5) 2 bis 4 miteinander verbundene, nacheinander geschaltete Umesterungsvorrichtungen (15,17) aufweist.

20 65. Vorrichtung nach Anspruch 64, wobei die Umesterungsvorrichtungen (15,17) als Kolonnen ausgeführt sind.

25 66. Vorrichtung nach Anspruch 64 oder 65, wobei die Umesterungsvorrichtungen (15,17) durch mindestens eine Zuleitung (105,106) mit der Aufreinigungseinheit (6) zur Überführung der in den Umesterungsvorrichtungen (15,17) gebildeten Produkte in die Aufreinigungseinheit (6) verbunden sind.

67. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 66, wobei die Aufreinigungseinheit (6) mindestens 4

miteinander verbundene, hintereinander geschaltete Separatoren (71,73,75,77) und eine Trocknungsvorrichtung (159) zur Aufreinigung des erhaltenen Produktes aufweist.

- 5 68. Vorrichtung nach Anspruch 67, wobei die Separatoren (71,73,75,77) über eine Zuleitung (57) mit der Trocknungsvorrichtung (159) zur Überführung der in den Separatoren (71,73,75,77) von basischem Katalysator, Monoalkohol, saurem Katalysator und Schleppmittel abgetrennten Produkte in die Trocknungsvorrichtung (159) verbunden sind.

- 15 69. Vorrichtung nach Anspruch 67 oder 68, wobei die Trocknungsvorrichtung (159) eine Ableitung (163) für die in der Trocknungsvorrichtung (159) aufgereinigten Endprodukte aufweist.

- 20 70. Vorrichtung nach Anspruch 67 oder 68, wobei die Separatoren (71,73,75,77) über die Zuleitungen (107,109) mit der Aufreinigungseinheit (8) zur Überführung des in den Separatoren (71,73,75,77) abgetrennten Gemisches von basischem Katalysator, Monoalkohol, saurem Katalysator und Schleppmittel in die Aufreinigungsvorrichtung (8) verbunden sind.

- 25 71. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 70, wobei die Aufreinigungseinheit (8) mindestens eine Trocknungsvorrichtung (97), eine Ansäuerungs-
vorrichtung (103), einen Separator (113), eine Rektifikationsvorrichtung (117), eine Evaporations-
vorrichtung (121), eine Destillationsvorrichtung (131), eine Dünnschicht-Evaporationsvorrichtung

(139) und eine Filtrationsvorrichtung (147) aufweist.

72. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 50 bis 71, wobei die Veresterungsvorrichtungen (9,11) über
5 mindestens eine Zuleitung (95) mit der Trocknungsvorrichtung (97) zur Überführung eines in den Vorrichtungen mittels Phasentrennung erhaltenen Gemisches aus nicht-umgesetztem C₁- bis C₄-Monoalkohol, saurem Katalysator und Schleppmittel in die Trocknungsvorrichtung (97) verbunden sind.
10

73. Vorrichtung nach Anspruch 72, wobei die Trocknungsvorrichtung (97) über eine Zuleitung (125) mit der Rektifikationsvorrichtung (117) zur Überführung des in der Trocknungsvorrichtung abgetrennten C₁- bis C₄-Monoalkohol in die Rektifikationsvorrichtung (117) verbunden ist.
15

74. Vorrichtung nach Anspruch 72 oder 73, wobei die Trocknungsvorrichtung (97) über eine Zuleitung (101) mit der Ansäuerungsvorrichtung (103) zur Überführung des in der Trocknungsvorrichtung abgetrennten Gemisches aus saurem Katalysator, Schleppmittel und Restmengen des C₁- bis C₄-Monoalkohols in die Ansäuerungsvorrichtung (103) verbunden ist.
20

75. Vorrichtung nach Anspruch 71 oder 74, wobei die Ansäuerungsvorrichtung (103) über die Zuleitungen (107,109) mit den Separatoren (71,73,75,77) verbunden sind.
25

76. Vorrichtung nach Anspruch 74 oder 75, wobei die Ansäuerungsvorrichtung (103) über eine Zuleitung (111) mit dem Separator (113) zur Überführung des
30

in der Ansäuerungsvorrichtung (103) angesäuerten Gemisches in den Separator (113) verbunden ist.

5 77. Vorrichtung nach Anspruch 76, wobei der Separator (113) über eine Ableitung (155) mit der Veresterungseinheit (3) zur Rückführung der im Separator (113) abgetrennten Fettsäure in die Veresterungseinheit (3) verbunden ist.

10 78. Vorrichtung nach Anspruch 76 oder 77, wobei der Separator (113) über eine Zuleitung (115) mit der Rektifikationsvorrichtung (117) zur Überführung des im Separator (113) gebildeten wasserhaltigen Gemisches aus saurem Katalysator, basischem Katalysator und Restmengen des Monoalkohols in die Rektifikationsvorrichtung (117) verbunden ist.

15 79. Vorrichtung nach Anspruch 78, wobei die Rektifikationsvorrichtung (117) über eine Ableitung (127) mit der Veresterungseinheit (3) zur Rückführung des in der Rektifikationsvorrichtung (117) aufgereinigten Monoalkohols in die Veresterungseinheit (3) verbunden ist.

20 80. Vorrichtung nach Anspruch 78 oder 79, wobei die Rektifikationsvorrichtung (117) über eine Zuleitung (119) mit der Evaporationsvorrichtung (121) verbunden ist.

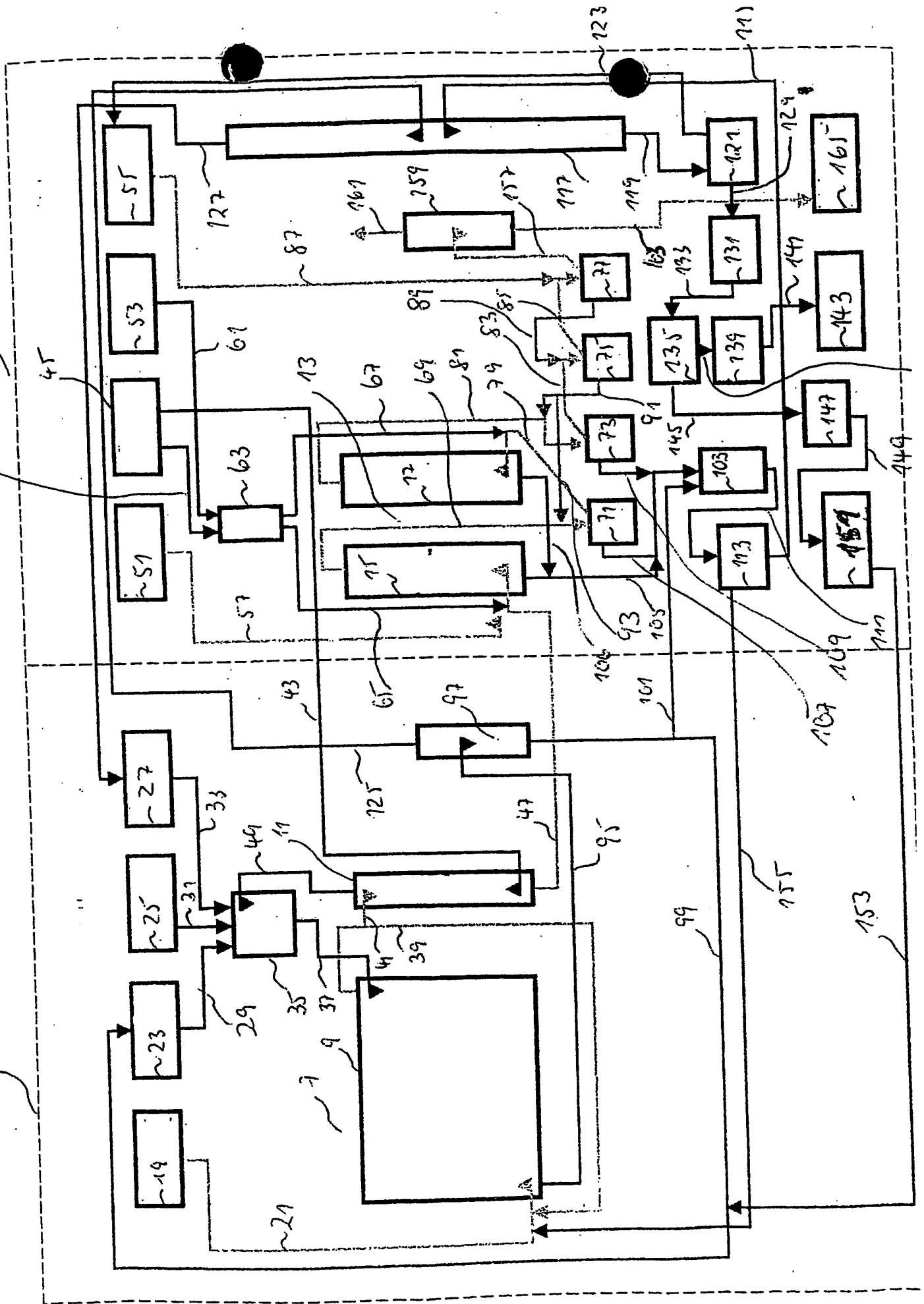
25 81. Vorrichtung nach Anspruch 80, wobei die Evaporationsvorrichtung (121) eine Zuleitung (123) zur Überführung des in der Evaporationsvorrichtung (121) gereinigten Wassers aufweist.

82. Vorrichtung nach Anspruch 80 oder 81, wobei die Evaporationsvorrichtung (121) über Zuleitungen (129,133) mit der Trocknungsvorrichtung (131) und der Destillationsvorrichtung (135) zur Überführung des in der Evaporationsvorrichtung (121) abgetrennten Gemisches von Glycerin, saurem Katalysator und basischem Katalysator in die Vorrichtung (135) verbunden ist.
83. Vorrichtung nach Anspruch 82, wobei die Destillationsvorrichtung (135) über eine Zuleitung (137) mit der Dünnschicht-Evaporationsvorrichtung (139) zur Überführung der in der Vorrichtung (135) abgetrennten sauren und basischen Katalysatoren in die Evaporationsvorrichtung (139) verbunden ist.
84. Vorrichtung nach Anspruch 83, wobei die Dünnschicht-Evaporationsvorrichtung (139) eine Leitung (141) zum Ableiten des als Düngemittel geeigneten Umsetzungsprodukt des basischen und sauren Katalysators aufweist.
85. Vorrichtung nach Anspruch 83, wobei die Destillationsvorrichtung (135) über eine Zuleitung (145) mit der Filtrationsvorrichtung (147) zur Überführung des Glycerins in die Filtrationsvorrichtung (147) verbunden ist.
86. Vorrichtung nach Anspruch 85, wobei die Filtrationsvorrichtung (147) über eine Ableitung (149) mit der Veresterungseinheit (3) zur teilweisen Rückführung des in der Filtrationsvorrichtung aufgereinigten Glycerins als Schleppmittel aufweist.

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Biodiesel aus biogenen fett- oder öl-haltigen Ausgangsgemischen mit einem hohen Anteil freier Fettsäuren sowie eine Vorrichtung zur Herstellung von Biodiesel.

Figure 1



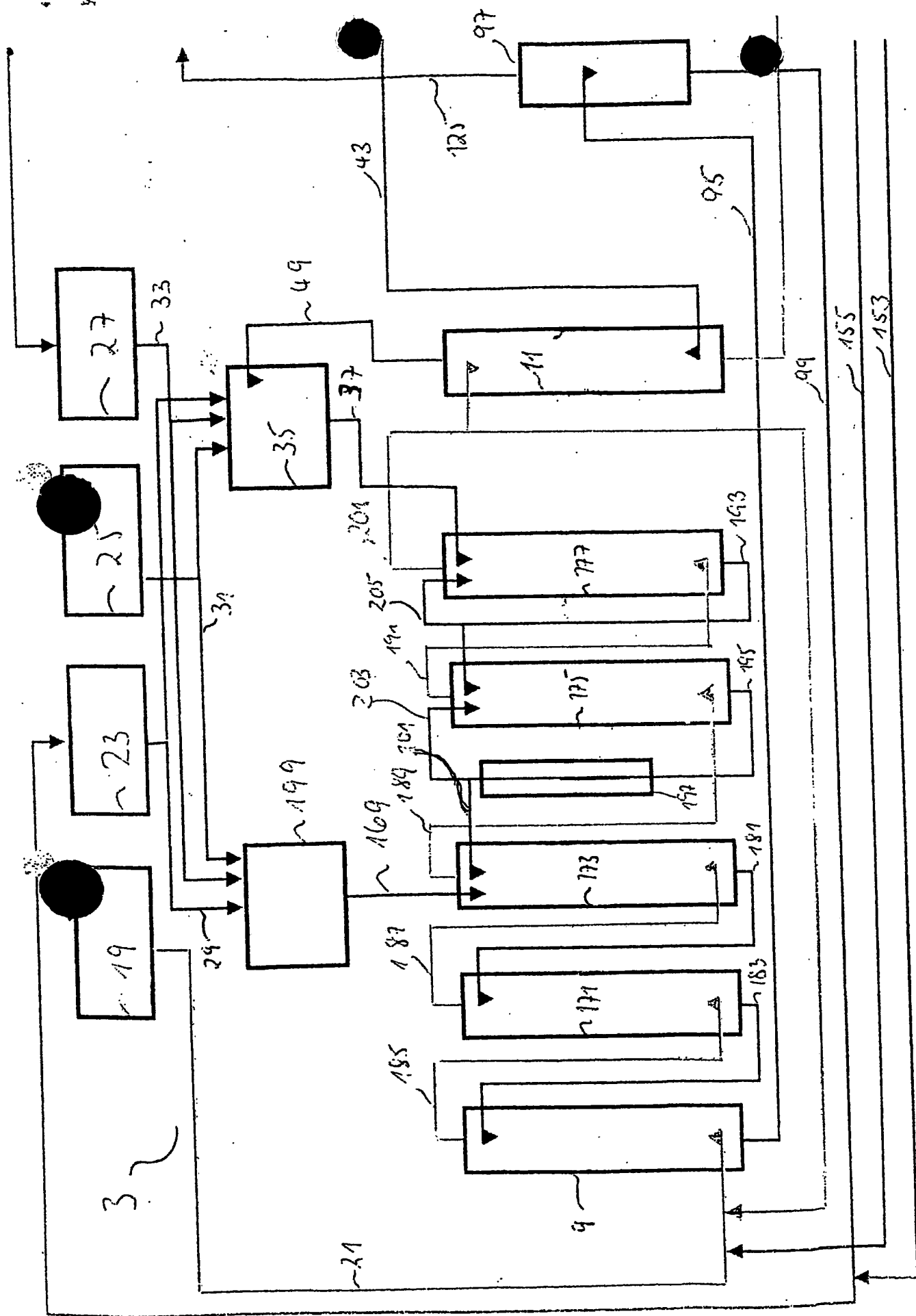


Fig.2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.